

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDREAS JERKE

ANÁLISE DO MONITORAMENTO GEODÉSICO DA BARRAGEM DA USINA
HIDRELÉTRICA MAUÁ COM EQUIPAMENTOS DE DIFERENTES PRECISÕES E
DIFERENTES SOFTWARES DE PROCESSAMENTO

CURITIBA

2019

ANDREAS JERKE

ANÁLISE DO MONITORAMENTO GEODÉSICO DA BARRAGEM DA USINA
HIDRELÉTRICA MAUÁ COM EQUIPAMENTOS DE DIFERENTES PRECISÕES E
DIFERENTES SOFTWARES DE PROCESSAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas, área de concentração: Geodésia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luis Faggion

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

J55a Jerke, Andreas

Análise do monitoramento geodésico da barragem da usina hidrelétrica Mauá com equipamentos de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento [Recurso eletrônico] / Andreas Jerke – Curitiba, 2019.

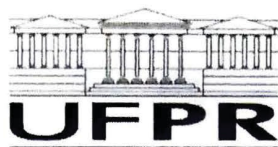
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Prof. Dr. Pedro Luis Faggion

1. Barragens e açudes – segurança. 2. Geodésia. I. Universidade Federal do Paraná. II. Faggion, Pedro Luis. III. Título.

CDD 627.82

Bibliotecária: Vilma Machado CRB-9/1563



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
GEODÉSICAS - 40001016002P6

TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANDREAS JERKE** intitulada: **ANÁLISE DO MONITORAMENTO GEODÉSICO DA BARRAGEM DA USINA HIDRELÉTRICA MAUÁ COM EQUIPAMENTOS DE DIFERENTES PRECISÕES E DIFERENTES SOFTWARES DE PROCESSAMENTO**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2019.



PEDRO LUIS FAGGION
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



REGIANE DALAZOANA
Avaliador Interno (UFPR)



ÉRICA SANTOS MATOS
Avaliador Externo (UFPR)

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pela eterna companhia, saúde e força para trilhar os caminhos da vida e por ter me abençoado a chegar até aqui. A Ele seja dada toda honra, toda glória e todo louvor por esse trabalho.

Gostaria também de agradecer a minha família, pelo carinho, apoio, dedicação e incentivo, lembrando principalmente dos meus pais, Erni e Marlei e minha irmã Daniele.

A minha esposa Raquel, por estar sempre ao meu lado, me incentivando, me apoiando e me suportando em todos os momentos. Pelos ótimos momentos, sorrisos e a felicidade que sua companhia me traz.

Ao Prof. Dr. Pedro L. Faggion agradeço por sua paciência, amizade, apoio e incentivo demonstrado ao longo deste trabalho. Mas quero agradecer principalmente pela orientação, conselhos e contribuições prestadas durante todo o decorrer do desenvolvimento deste projeto, onde é detentor de grande porcentagem do sucesso deste trabalho.

A Prof^a Dra. Regiane Dalazoana e a Prof^a Dra. Érica Santos Matos por toda a ajuda prestada ao longo da minha permanência no CPGCG e pelas contribuições e sugestões que serviram para o enriquecimento deste trabalho.

A Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG), por disponibilizar o Laboratório de Geodésia aplicada a Engenharia para a elaboração desta dissertação, bem como todos os equipamentos e instalações constantes nestes locais.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

Aos meus colegas de laboratório, Dayane, Felipe e Leandro pelo apoio prestado nos momentos difíceis e pela amizade.

Ao Prof. Dr. Wander da Cruz pela sua amizade, ensinamentos e conselhos transmitidos nestes dois anos e a Família da Cruz, seus pais senhor Geraldo e senhora Selmira e seus avós senhor Casimiro e senhora Lenir, pelo acolhimento e acomodação em sua casa em Telêmaco Borba onde sempre fui bem recebido.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os professores e alunos do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, que direta e indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

RESUMO

Com a finalidade de verificar a estabilidade de pontos de monitoramento previamente selecionados e materializados no corpo da barragem à jusante da Usina Hidrelétrica Mauá, localizada no rio Tibagi, entre os municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba, analisa-se o monitoramento utilizando o método de posicionamento por satélite utilizando Global Navigation Satellite System (GNSS) com o método da irradiação utilizando Estações Totais robotizadas de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento dos dados para determinar eventuais deslocamentos. O procedimento adotado consiste em comparar os resultados do monitoramento realizado com uma estação total robotizada de precisão angular de 5", com os resultados do mesmo monitoramento realizado com outra estação total robotizada de precisão angular de 1". O estudo do comportamento dos pontos monitorados se dá pela comparação de suas coordenadas entre duas ou mais épocas distintas. Para isso, o levantamento da rede geodésica materializada por pilares de concreto utilizando GNSS serviu de referência para o monitoramento dos pontos irradiados com as diferentes estações. Após distintas campanhas de levantamentos, nesta pesquisa utiliza-se diferentes softwares de processamento dos dados, um comercial para monitoramento em tempo real e outro em ambiente *MatLab* desenvolvido em uma tese de doutorado (Da Cruz, 2015) para as finalidades do monitoramento da UHE Mauá, onde são feitas análises e correções nos dados obtidos. No processamento calcula-se as coordenadas tridimensionais dos pontos monitorados utilizando o método da irradiação. A determinação das coordenadas em épocas distintas com diferentes softwares e equipamentos permite a análise da ocorrência ou não da movimentação do ponto que está sendo monitorado e avaliar possíveis deslocamentos obtidos com as diferentes configurações de equipamentos e métodos de processamento verificando se há a necessidade de utilizar equipamentos mais precisos e consequentemente mais caros. Como resultado apresenta-se as diferenças de coordenadas dos pontos de monitoramento obtidos com diferentes equipamentos e diferentes softwares em campanhas distintas.

Palavras-chave: Monitoramento de barragem; Levantamento geodésico; Geomos.

ABSTRACT

In order to verify the stability of monitoring points previously selected and materialized in the dam body downstream of the Mauá Hydroelectric Power Plant, located in the Tibagi River, between the municipalities of Ortigueira and Telemaco Borba, the monitoring is analyzed using the positioning method by using Global Navigation Satellite System (GNSS) using the irradiation method using robotized Total Stations of different precisions and different data processing software to determine any displacements. The procedure used is to compare the results of the monitoring performed with a 5 "angular precision robotic total station with the results of the same monitoring performed with another 1" angular accuracy robotic station. The study of the behavior of monitored points occurs by comparing their coordinates between two or more distinct epochs. For this, the survey of the geodesic network materialized by concrete pillars using GNSS served as reference for the monitoring of the points irradiated with the different stations. In this survey we used different data processing software, one commercial for real-time monitoring and the other in a MatLab environment developed in a doctoral thesis (Da Cruz, 2015) for the purposes of monitoring the Mauá HPP, where analyzes and corrections are made in the obtained data. In the processing, the three-dimensional coordinates of the monitored points are calculated using the irradiation method. The determination of the coordinates at different times with different software and equipment allows the analysis of the occurrence or not of the movement of the point being monitored and evaluate possible displacements obtained with the different configurations of equipment and processing methods verifying if there is a need to use equipment more accurate and therefore more expensive. As a result, we present the coordinate differences of the monitoring points obtained with different equipment and different software in different campaigns.

Keywords: Dam monitoring; Geodetic survey; Geomos.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	BARRAGEM ZEUZIER	20
FIGURA 2 –	BARRAGEM DE WILLOW CREEK.....	25
FIGURA 3 –	COMPORTAS DA USINA HIDRELÉTRICA MAUÁ.....	26
FIGURA 4 –	REPRESENTAÇÃO DO SGC E SGCL.....	30
FIGURA 5 –	SB E SGCL	32
FIGURA 6 –	REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DA IRRADIAÇÃO	34
FIGURA 7 –	ÁBACO DE CORREÇÃO AMBIENTAL DE MED DA TS15	36
FIGURA 8 –	ILUSTRAÇÃO DO NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO	37
FIGURA 9 –	ILUSTRAÇÃO DO LEVANTAMENTO PARA OBTER H	38
FIGURA 10 –	DIAGRAMA DE FLUXO NO TOPO 3D JUSANTE.....	40
FIGURA 11 –	LOCALIZAÇÃO DA UHE MAUÁ.	44
FIGURA 12 –	REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA.....	45
FIGURA 13 –	RECEPTOR GNSS HIPER LITE.....	46
FIGURA 14 –	RECEPTOR GNSS LEICA SMART/STATION 1200.....	47
FIGURA 15 –	RECEPTOR GNSS LEICA GS15.....	48
FIGURA 16 –	ESTAÇÃO TOTAL TS15.....	48
FIGURA 17 –	ESTAÇÃO TOTAL TCRA1205.....	49
FIGURA 18 –	PRISMA GPR112 E PROTETOR.	50
FIGURA 19 –	PRISMA CIRCULAR GPR 111.	50
FIGURA 20 –	TELA DE INICIAÇÃO DO GEOMOS.	51
FIGURA 21 –	SENSOR STS DIGITAL DE PRESSÃO E TEMPERATURA.	51
FIGURA 22 –	NOTEBOOK HP COREL I5.....	52
FIGURA 23 –	INVERSOR DE TENSÃO.....	52
FIGURA 24 –	BATERIA E ACENDEDOR.....	53
FIGURA 25 –	METODOLOGIA UTILIZADA	54
FIGURA 26 –	RECEPTOR NO PONTO CG02.....	55
FIGURA 27 –	GEOMETRIA DO PROCESSAMENTO COM A RBMC.	56
FIGURA 28 –	GEOMETRIA DO PROCESSAMENTO DA REDE GEODÉSICA.	56
FIGURA 29 –	LOCALIZAÇÃO DOS PRISMAS NO CORPO À JUSANTE DA BARRAGEM.....	59
FIGURA 30 –	REGISTRO DOS PONTOS DO CORPO DA BARRAGEM.....	59
FIGURA 31 –	TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - TEMPERATURA.	60

FIGURA 32 –	TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - PRESSÃO.....	61
FIGURA 33 –	TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - COORDENADAS.	61
FIGURA 34 –	CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL.....	62
FIGURA 35 –	CÁLCULO DAS COORDENADAS POR IRRADIAÇÃO.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	FREQUÊNCIAS MÍNIMAS DE LEITURA RECOMENDADA.....	14
TABELA 2 –	ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITOS NOS ULTIMOS ANOS EM MG.....	16
TABELA 3 –	ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE ÁGUA NOS ÚLTIMOS ANOS	17
TABELA 4 –	COORDENADAS DOS PILARES DA REDE EM 24/04/2018.	57
TABELA 5 –	COORDENADAS DOS PILARES DA REDE EM 09/08/2018.	57
TABELA 6 –	DIFERENÇA DAS COORDENADAS DA REDE.	58
TABELA 7 –	DATA DOS LEVANTAMENTOS.	64
TABELA 8 –	DIFERENÇA EM X_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.....	66
TABELA 9 –	DIFERENÇA EM Y_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.....	68
TABELA 10 –	DIFERENÇA EM Z_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.....	70
TABELA 11 –	DIFERENÇA EM X_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	72
TABELA 12 –	DIFERENÇA EM Y_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	74
TABELA 13 –	DIFERENÇA EM Z_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	76
TABELA 14 –	DIFERENÇA EM X_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.....	78
TABELA 15 –	DIFERENÇA EM Y_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.....	80
TABELA 16 –	DIFERENÇA EM Z_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.....	82
TABELA 17 –	DIFERENÇA EM X_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	84
TABELA 18 –	DIFERENÇA EM Y_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	86
TABELA 19 –	DIFERENÇA EM Z_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.....	88
TABELA 20 –	DIFERENÇA DA 3ª CAMPANHA COM TS15 E PÓS-PROCESSAMENTO	94
TABELA 21 –	DIFERENÇA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205 E PÓS-PROCESSAMENTO	96
TABELA 22 –	DIFERENÇA ENTRE GEOMOS E PÓS-PROCESSAMENTO TS15.	98
TABELA 23 –	DIFERENÇA GEOMOS E PÓS-PROCESSAMENTO TCRA1205...	100
TABELA 24 –	DIFERENÇAS MÉDIAS OBTIDAS.....	102
TABELA 25 –	DIFERENÇAS MÉDIAS OBTIDAS COM PROPAGAÇÃO	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATR®	Reconhecimento Automático de Alvos
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CCR	Concreto Compactado com Rolo
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CPGCG	Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
GNSS	Ingl. <i>Global Navigation Satellite Systems</i>
GPS	Ingl. <i>Global Positioning System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAIG	Laboratório de Instrumentação Geodésica
LGO	<i>Leica GeoOffice®</i>
MBAR	MiliBar
MW	Megawatt
NAVSTAR	Ingl. <i>Navigation System with Time and Ranging</i>
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PPM	Parte por milhão
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PRGU	Estação Guarapuava da RBMC
PRMA	Estação Maringá da RBMC
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
SGC	Sistema Geodésico Cartesiano
SGCL	Sistema Geodésico Cartesiano Local
SNISB	Sistema Nacional de Informações de Segurança de Barragens
SPBO	Estação Botucatu da RBMC
TPS	Estação Total
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	BARRAGENS	19
2.2	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
2.2.1	Histórico na UFPR	22
2.3	BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO	24
2.4	MONITORAMENTO DE BARRAGENS	27
2.5	MONITORAMENTO GEODÉSICO DE BARRAGEM.....	28
2.5.1	Transformação de coordenadas geodésicas	29
2.5.2	Monitoramento Geodésico em tempo real	33
2.5.3	Método da Irradiação	34
2.5.3.1	Correção da distância eletrônica.....	35
2.5.3.2	Obtenção das coordenadas planas X e Y	37
2.5.3.3	Obtenção da coordenada H utilizando nivelamento trigonométrico para distâncias longas	37
2.5.4	Correção relativa à curvatura da Terra e Refração atmosférica	39
2.6	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	39
2.7	PROPAGAÇÃO DE ERROS	41
3	METODOLOGIA.....	44
3.1	ÁREA DE ESTUDO	44
3.2	REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA.....	45
3.3	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS	45
3.3.1	Receptor GNSS Hiper Lite	46
3.3.2	Receptor GNSS Smart Station 1200.....	47
3.3.3	Receptor GNSS GS15	47
3.3.4	Estação Total TS15.....	48
3.3.5	Estação Total TCRA1205	49
3.3.6	Prisma Refletor	49

3.3.7	Software GeoMos	50
3.3.8	Sensor Digital de pressão e temperatura DTM	51
3.3.9	Notebook.....	52
3.3.10	Inversor de Tensão	52
3.3.11	Bateria e Acendedor de carro	53
3.4	METODOLOGIA EMPREGADA	53
3.5	LEVANTAMENTO DA REDE GEODÉSICA POR POSICIONAMENTO GNSS	54
3.6	LEVANTAMENTO DOS PONTOS NO CORPO DA BARRAGEM UTILIZANDO GEOMOS.....	58
3.7	PÓS PROCESSAMENTO.....	62
3.8	CAMPANHAS DE MONITORAMENTO NA UHE MAUÁ	63
4	RESULTADOS	65
4.1	RESULTADOS ENCONTRADOS COM OS DIFERENTES EQUIPAMENTOS	65
4.2	RESULTADOS ENCONTRADOS COM OS DIFERENTES SOFTWARES	94
5	CONCLUSÃO	103
5.1	RECOMENDAÇÕES.....	104
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Há mais de quatro séculos as barragens vêm propiciando benefícios à humanidade, tanto que um dos requisitos fundamentais do desenvolvimento socioeconômico no mundo é a disponibilidade de água com a devida qualidade e de suprimento suficiente de energia. Barragens adequadamente planejadas, projetadas, construídas e mantidas contribuem significativamente para atender a demanda de fornecimento de água e energia (MELLO, 2013).

Todavia o rompimento de barragens é uma modalidade de desastres consideravelmente recorrente na história da humanidade. Dois são os principais fatores que podem ser apontados como primários desse evento: o advento de um fenômeno natural intenso responsável por abalar a estrutura da barragem ou a falta de inspeção contínua da estrutura ao longo do seu período de operação. Porém, existem várias outras causas que ocasionam acidentes envolvendo barragens, dentre elas projetos mal elaborados (incluindo o local escolhido), barragens construídas com materiais impróprios, falta de monitoramento apropriado, rupturas ocasionadas por falta de manutenção, acúmulo de material sobrecarregando a estrutura, etc (BROWN, 2012).

Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle. Essas medidas asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula. Porém, devem ser periodicamente revisadas levando-se em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e deterioração das estruturas (ANA, 2015).

Para se estabelecer um controle do uso e da segurança da barragem são necessários diversos procedimentos visando à gestão e o controle do sistema da barragem para que novos desastres sejam evitados. O monitoramento contínuo voltado para a segurança e integridade de sua estrutura utilizando medições geodésicas têm sido muito eficiente para controle.

Monitorar uma estrutura do ponto de vista do posicionamento geodésico significa determinar e comparar as coordenadas de pontos em duas épocas distintas, verificando e analisando se houveram variações significativas nestas coordenadas (SILVEIRA, 2003).

Com o objetivo de assegurar adequadas condições de segurança para as barragens, a Agência Nacional das Águas (ANA) elaborou o Guia para a construção de barragens onde, no capítulo 5, estabelece orientações gerais aos responsáveis sobre a elaboração do Plano de Monitoramento. A Tabela 1 mostra as frequências mínimas de leitura para cada etapa de construção da barragem.

TABELA 1 – FREQUÊNCIAS MÍNIMAS DE LEITURA RECOMENDADA

Tipo de observação	Período construtivo	Enchimento do reservatório	Período Inicial de Operação	Período de Operação
Deslocamentos “absolutos” (Geodésia)	Ao final da construção	Mensal	Trimestral	Semestral
Deslocamentos relativos	2 Semanais	3 Semanais	Semanal	Quinzenal
Deslocamentos entre blocos/monólitos	Semanal	2 Semanais	Quinzenal	Mensal
Deformação interna	Semanal	2 Semanais	Semanal	Mensal
Tensão	Semanal	2 Semanais	Semanal	Mensal
Pressão intersticial no concreto	Semanal	2 Semanais	Semanal	Mensal
Subpressão	Semanal	3 Semanais	2 Semanais	Semanal a Quinzenal
Vazão de infiltração	-	Diárias	3 Semanais	Semanal
Temperatura do concreto	Semanal	2 Semanais	Semanal	Mensal

FONTE: ELETROBRÁS, 2003.

Entre os tipos de observação existentes para monitorar estas estruturas estão os métodos geodésicos. Neste método, pontos localizados fora da estrutura ou da região afetada pelo reservatório são tomados como referência para as observações realizadas no corpo da barragem. Neste caso pode ser conciliado diversos métodos de posicionamento como: posicionamento por satélite, irradiação, trilateração, triangulação, nivelamento geométrico e gravimetria.

Cabe ressaltar que os deslocamentos relativos citados na Tabela 1 não estão relacionados com a definição de método relativo da Geodésia. Estes deslocamentos são medidos com extensômetros, piezômetros e medidores triortogonais de junta.

Este trabalho apresenta uma análise do monitoramento tridimensional de alvos engastados à jusante da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Mauá, localizada no rio Tibagi, entre os municípios de Ortigueira-PR e Telêmaco Borba-PR, utilizando pontos de referência que se localizam fora da estrutura e da região afetada pelo reservatório, para realizar observações no corpo da barragem, com equipamentos de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento. O objetivo é avaliar a precisão necessária dos equipamentos para o monitoramento da

barragem da UHE Mauá, estudar o benefício dos equipamentos e verificar se há a necessidade de investir em equipamentos mais precisos e consequentemente mais caros. Analisa-se também os benefícios do software em tempo real comparado com o método pós-processado, onde serão comparadas as coordenadas obtidas entre campanhas distintas, indicando se houve ou não a movimentação dos pontos previamente selecionados.

A variação máxima tolerável de diferenças horizontais e verticais adotados neste projeto são de 10 e 15 milímetros respectivamente. Estes valores foram definidos por semelhança aos limites adotados na barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, cujos valores são encontrados no documento intitulado “Instrumentos de Auscultação das obras civis, valores de controle para leituras dos instrumentos” elaborado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 1998).

Se é possível realizar o levantamento tridimensional dos pontos de monitoramento engastados no corpo da barragem utilizando equipamentos com diferentes precisões e diferentes softwares de processamento e comparar os resultados obtidos, então é possível analisar se há a necessidade de investir em equipamentos mais precisos e consequentemente mais caros e também avaliar os resultados do software em tempo real com código fechado comparado com o método pós-processado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os resultados de monitoramento de pontos previamente selecionados na estrutura da barragem da Usina Hidrelétrica Mauá com diferentes equipamentos e softwares de processamento.

1.1.2 Objetivos específicos

- 1) Analisar as coordenadas geodésicas obtidas por GNSS dos pilares que compõem a rede geodésica de referência e transformá-las para um Sistema de Coordenadas Local.

- 2) Avaliar as coordenadas dos alvos engastados à jusante da barragem obtidas com equipamento de precisão angular de 1" e com equipamento de precisão angular de 5" em tempo real.
- 3) Avaliar as coordenadas dos alvos engastados à jusante da barragem obtidas com equipamento de precisão angular de 1" e com equipamento de precisão angular de 5" pelo método pós-processado.
- 4) Analisar a diferença encontrada através da comparação das coordenadas obtidas em épocas distintas com diferentes equipamentos e softwares.
- 5) Realizar a propagação das covariâncias a fim de verificar a confiabilidade dos dados encontrados.

1.2 JUSTIFICATIVA

A instrumentação e o estudo do comportamento de obras de engenharia possuem grande importância nos dias atuais, pois têm como finalidade a observação e o acompanhamento destes empreendimentos, sendo que neste contexto estão inclusas as barragens que geralmente são obras associadas a um elevado potencial de risco devido à possibilidade de um eventual colapso.

Em dezembro de 1959, a fundação da Barragem de Malpasset, França (em arco de concreto), se movimentou e a barragem rompeu. A onda de cheia resultante da ruptura matou mais de 450 pessoas (KOCHEN, 2016).

Em outubro de 1963, a encosta do reservatório da barragem de Vajont, Itália, rompeu subitamente ocasionando um transbordamento da barragem. A onda de cheia resultante da ruptura matou mais de 2.500 pessoas, na cidade de Longarone, a jusante da barragem (KOCHEN, 2016).

No Brasil, o número de acidentes envolvendo barragens tem aumentado nos últimos anos. Só no estado de Minas Gerais, 6 barragens de rejeitos romperam nos últimos 18 anos como mostra a Tabela 2 e várias outras encontram-se em situação crítica.

TABELA 2 – ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITOS NOS ULTIMOS ANOS EM MG

LOCAL	DATA	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Nova Lima (MG)	2001	Barragem de Macacos	Barragem de Rejeitos	5 óbitos.

CONTINUAÇÃO DA TABELA 2

Cataguases (MG)	2003	Barragem em Cataguases	Barragem de Rejeitos industriais	Contaminação do rio Paraíba do Sul e interrupção do abastecimento de água de 600.000 pessoas.
Miraí (MG)	2007	Barragem do Rio Pomba/ Cataguases	Barragem de rejeitos minerários	Mais de 4000 pessoas desabrigadas ou desalojadas.
Itabirito (MG)	2014	Barragem da Herculano	Barragem de rejeitos	3 óbitos.
Mariana (MG)	2015	Barragem Fundão	Barragem de rejeitos	19 óbitos, 8 desaparecidos 600 desabrigados ou desalojados, interrupção do abastecimento de água de milhares de pessoas.
Brumadinho (MG)	2019	Barragem da Mina Córrego do Feijão	Barragem de rejeitos minerários	171 óbitos, 139 desaparecidos e devastação de 125 hectares de floresta.

FONTE: ADAPTADO DE ALVES, 2016.

Levando em consideração que este estudo de caso é em uma barragem de água, a Tabela 3 mostra as barragens de água que romperam nos últimos 15 anos no país.

TABELA 3 – ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE ÁGUA NOS ÚLTIMOS ANOS

LOCAL	DATA	NOME	TIPO	DANOS CAUSADOS
Alagoa Nova (PB)	2004	Camará	Barragem de água	5 óbitos e aproximadamente 3 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas
Vilhena (RO)	2008	Apertadinho	Barragem de água para geração de energia	Danos ambientais variados (assoreamento de rios, erosão do Solo, entre outros)
Cocal e Buriti dos Lopes (PI)	2009	Algodões	Barragem de água	Entre 9 e 24 mortos e cerca de 2000 pessoas ficaram desabrigadas ou desalojadas
Laranjal do Jari (AP)	2014	Santo Antônio	Barragem de água para geração de energia	4 óbitos.

FONTE: ALVES, 2016.

Desta forma, em 2010 é sancionada a Lei 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) onde fica determinado que

toda barragem deve ser instrumentada de acordo com seu porte e riscos associados (BRASIL, 2002).

Neste contexto, esta pesquisa visa analisar a melhor proposta de monitoramento tridimensional para a UHE Mauá. A metodologia adotada, utilizando método geodésico com diferentes equipamentos e diferentes softwares, pode servir como referência ao monitoramento de outros empreendimentos.

Nesta pesquisa os pontos de controle foram determinados via GNSS e foi utilizado o método da irradiação para levantar os pontos a serem monitorados no corpo da barragem com o auxílio de duas estações totais robotizadas a fim de agilizar o procedimento na obtenção dos dados, minimizar a influência do observador e comparar os resultados obtidos. O processamento dos dados foi realizado com dois softwares, Leica GeoMos® de monitoramento em tempo real e outro software que realiza o pós-processamento dos dados desenvolvido em uma tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Justifica-se a presente pesquisa por indicar a agilidade obtida com o instrumental utilizado, avaliar a precisão encontrada com os equipamentos utilizados, obter um volume de dados em tempo real, apresentar as precisões e confiabilidade das medidas efetuadas na hora do levantamento, entender e reagir rapidamente às demandas dos projetos atuais de monitoramento e comparar a viabilidade dos equipamentos e softwares utilizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BARRAGENS

O termo barragem pode ser entendido como qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (BRASIL, 2010).

As barragens têm servido como fonte confiável de água para a vida das pessoas ao longo dos últimos cinco mil anos, de acordo com registros arqueológicos que se baseiam em investigações de ruínas e na observação de estruturas ainda em funcionamento. Barragens permitem que as populações colem e armazenem água quando abundante e depois a usem nas épocas de seca. Elas têm sido então fundamentais para a formação de estoques de água, formação do desnível necessário para a geração da energia, captação da água em volume adequado e regularização da vazão do rio em períodos de chuva ou de estiagem (CBDB, 2001).

2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em 1853, medições topográficas foram realizadas na barragem em Cantaria (Masonry) de Grosbois, na França, construída entre 1830 e 1838, para a observação dos deslocamentos da crista. Essa barragem havia apresentado inúmeros problemas desde o início do enchimento do reservatório em 1838 e teve que ser reforçada em mais de uma ocasião. Sendo assim, a partir de 1853, medições topográficas tornaram-se prática comum em barragens (SILVEIRA, 2006).

É bem conhecido também o caso da barragem em arco de Zeuzier, na Suíça, mostrada na Figura 1. Com 156 metros de altura, operou durante 21 anos sem apresentar sinais preocupantes, quando em novembro de 1978 os pêndulos diretos indicaram deslocamentos crescentes da crista da barragem para montante, apesar do reservatório estar cheio. Medições geodésicas indicavam movimentos de aproximação entre as ombreiras e recalques do maciço de fundação em toda a região da barragem. Fissuras apareceram no concreto, com abertura de 10 mm e desenvolveram-se junto às ombreiras. As investigações e os dados da instrumentação provaram que os problemas estavam associados à escavação de um túnel rodoviário, a mais de um quilômetro de distância da barragem. A

escavação foi paralisada e a barragem foi reparada, estando hoje em operação normal (SILVEIRA, 2016).

FIGURA 1 – BARRAGEM ZEUZIER



FONTE: ZUCULIN, 2012.

No âmbito acadêmico, o número de trabalhos relacionados ao monitoramento de grandes estruturas antrópicas vem aumentando nos últimos anos.

Na China, JINGZHAN (2002) analisa a aplicação da Estação Total TCA2003 no monitoramento externo de deformações da barragem de Ertan, a Estação Total TCA2003 apresenta precisão linear de ± 1 mm e precisão angular de $\pm 0,5''$. O autor comparou o resultado do monitoramento de deformação da barragem da UHE Ertan realizado com as seguintes Estações Totais: TCA2003, T3000 Electronic Weiwei e DI2002 Range Finder, todas com a mesma precisão no mesmo conteúdo de trabalho, no mesmo plano de observação, no mesmo período de observação e realizado sob as mesmas condições da área de teste. JINGZHAN concluiu que as observações da Estação Total TCA2003, T3000 e DI2002 são muito diferentes em termos de eficiência de observação, indicando que a eficiência do trabalho ao usar a estação total TCA2003 é significativamente melhor que os outros instrumentos de mesma precisão.

Nos Estados Unidos, LUTES (2002) implementa um sistema de monitoramento de deslocamento geodésico, denominado de DIMONS, baseado em estações totais robóticas para o reservatório de Diamond Valley Lake, na Califórnia do Sul. O tamanho do projeto e a frequência de monitoramento exigida tornaram

necessário incorporar o máximo de automação possível; os requisitos de precisão, por outro lado, exigiam um rigor geodésico não disponível usando software comercial. Os dados coletados e processados pelo DIMONS foram avaliados para garantir que o sistema de monitoramento completo atingisse as metas de precisão estabelecidas no projeto inicial do sistema. Resultados indicaram que o sistema automatizado foi um sucesso para o trabalho designado, embora etapas para reduzir o efeito da refração atmosférica sejam necessárias.

No Brasil, RIBEIRO (2008) pela Universidade de São Paulo (USP) propõe um método para verificação da estabilidade dos pilares da rede de monitoramento geodésico de barragens, utilizando o sistema de posicionamento por GPS. Os dados são ajustados aplicando o Teste de Congruência Global para verificação estatística dos resultados obtidos.

Na University of New Brunswick - Canadá, CHRZANOWSKI e SZOSTAK-CHRZANOWSKI (2009) realizam um estudo sobre os velhos problemas e as novas soluções no monitoramento de estruturas e concluíram que os efeitos das condições atmosféricas modificáveis nas medições geodésicas e os efeitos da calibração inadequada e da baixa confiabilidade da instrumentação ainda permanecem como os principais problemas dos sistemas de monitoramento atuais.

Na USP novamente, deslocamentos em redes geodésicas são alvos de estudo na dissertação apresentada por FAZAN (2010), na qual o autor utiliza o sistema GNSS para determinar as coordenadas dos pontos e o Teste de Congruência Global e Análise Geométrica para detectar tais deslocamentos na UHE de Itaipu.

No Canadá, CHRZANOWSKI e SZOSTAK-CHRZANOWSKI (2011) pesquisaram sobre novos métodos de análise integrada dos esquemas de monitoramento para barragens de concreto. As questões abordadas consistem em cinco componentes do processo de monitoramento de deformação: modelagem determinística de deformações, projeto do esquema de monitoramento, coleta de dados de monitoramento, análise geométrica e interpretação física.

Na China, CHEN et. al. (2013) realizaram um estudo sobre a aplicação do GeoMoS no monitoramento automático da área protegida do metrô, onde os resultados mostraram que o GeoMoS trabalhando em conjunto com a Estação Total TM30 atende aos requisitos de precisão no monitoramento de deformação da área

protegida do metrô e fornece referências técnicas para monitoramento de deformação de projetos similares no futuro.

Ainda na China, WENCHUN e ZHENGYUAN (2018) pesquisaram sobre a aplicação do software de monitoramento automático GeoMoS no monitoramento de assentamentos do túnel do metrô de Shenyang, avaliando a precisão dos dados coletados e realizando análises de viabilidade desse sistema no projeto de monitoramento de assentamentos. Esta pesquisa estabeleceu a importância teórica e o valor prático do GeoMoS para projetos de monitoramento de proteção metropolitana em engenharia de trânsito ferroviário urbano.

Na Alemanha, pesquisadores do Departamento de Geodésia e Navegação (Inspeção) e do Instituto de Pesquisa Aplicada (IAF) da Universidade de Karlsruhe de Ciências Aplicadas desenvolveram o projeto GOCA (**GNSS/LPS/LS-based online Control and Alarm System**). Até hoje 21 teses de doutorado usaram este projeto como tema e novas pesquisas estão sendo desenvolvidas. O sistema multi-sensor em tempo real GOCA aplica GNSS, sensores de posicionamento local terrestres (LPS), tais como, Estações totais e níveis, e adicionalmente sensores locais (LS), tais como, sensores de tensão ou inclinômetros, para um monitoramento e análise de deformação. O software GOCA além da inicialização, georreferenciamento e verificação de pontos estáveis, faz uma análise de deformação (estimativa de tendência, kalman-filtering) com respeito aos pontos objetos participantes do monitoramento. Além disso, um gerenciamento de alarmes e uma predição de deformação são fornecidos pelo software (GOCA, 2018).

2.2.1 Histórico na UFPR

Neste contexto, pesquisadores do grupo Geodésia Aplicada a Engenharia do PPGCG da UFPR, vinculado ao CNPq desenvolve atividades de pesquisa em barragens desde o final da década de 70, com ênfase em auscultação geodésica para verificar o movimento da crosta terrestre. A partir do ano de 2003 também se desenvolveram pesquisas voltadas para o monitoramento de barragens.

Na UHE Salto Caxias, no Rio Iguaçu, localizada entre os municípios de General Carneiro e Nova Prata do Iguaçu (região Sudoeste do estado do Paraná), foram desenvolvidos alguns trabalhos listados a seguir:

ZOCOLOTI FILHO (2005) realiza um estudo para desenvolvimento de metodologia utilizada no monitoramento de pontos em galerias de inspeção (no interior de barragens) empregando técnicas de poligonação de precisão, que permite analisar a estrutura externamente e internamente.

GRANEMANN (2005) amplia o tema com um estudo sobre a utilização de uma rede geodésica para o monitoramento de uma barragem, no qual apresenta formas de avaliar a rigidez da rede utilizada como referência para demais monitoramentos realizados no local.

Outro trabalho que trouxe inovações na forma de realizar o controle de deslocamentos é apresentado por MARTINI (2005), que aborda a calibração e utilização de prismas de reflexão total confeccionados em fita adesiva.

NADAL (2008) desenvolve um sistema de controle e operação remota de estações totais robotizadas voltado à auscultação geodésica e NEVES (2008) realiza um estudo sobre o processamento e análise dos levantamentos geodésicos aplicados ao monitoramento de estruturas, no qual são realizadas análises da rede geodésica de referência e de pontos implantados junto a algumas fissuras no corpo da barragem, com intuito de verificar se houve deslocamento destes pontos.

SUCI (2012) analisa a estabilidade da rede geodésica que dá suporte ao monitoramento da UHE Salto Caxias, a partir da coleta de dados GNSS com a finalidade de melhor avaliar os deslocamentos da rede.

SIGUEL (2017) desenvolve um sistema de calibração horizontal para sistemas de nivelamento digitais adequando uma estrutura já existente e propõe uma nova metodologia para o processo de calibração.

LIMA (2018) pesquisa sobre a modelagem matemática baseada na lei dos cossenos para determinação de deslocamentos em grandes estruturas.

Já na UHE de Mauá descrita neste trabalho foram desenvolvidos os seguintes estudos:

SILVA (2012) avalia a utilização do método de nivelamento trigonométrico pela técnica Leap-Frog na determinação de recalque em estruturas, no qual são encontrados valores menores que o recalque admissível para a estrutura avaliada.

MUGUIO (2012) realiza o estudo de implantação e análise de uma estação GNSS para o monitoramento contínuo da barragem, visto que a linha de base da barragem para a estação mais próxima é de aproximadamente 150 quilômetros.

Outro trabalho que trouxe inovações foi SIGUEL (2013) que aplica o método de irradiação topográfica com a finalidade de verificar a estabilidade de pontos da barragem.

LENARTOVICZ (2013) avalia a potencialidade do laser scanner terrestre no monitoramento realizando escaneamentos a jusante da estrutura da barragem.

GRAÇA (2014) compara e analisa a determinação de deslocamentos relativos no interior da galeria da barragem obtidos através de técnica geodésica com os deslocamentos derivados de leituras em Medidores Triortogonais de Junta - MTJ.

MEZINE (2015) desenvolve uma metodologia para o monitoramento do assoreamento à montante do reservatório da barragem, executando levantamento batimétrico.

DA CRUZ (2015) integra as observações derivadas do monitoramento de estruturas antrópicas, efetivando análise e representação de deslocamentos, utilizando vetores e elipses de erro, a partir de um sistema computacional especialmente desenvolvido para este fim.

Por fim, MUGUIO (2018) avalia a variação da densidade do Concreto Compactado a Rolo (CCR) com base nas anomalias da gravidade utilizando o método gravimétrico para avaliar as variações da densidade do CCR e o método da eletroresistividade para estimar a extensão e profundidade das anomalias.

A partir destes breves históricos, pode-se perceber a preocupação da comunidade acadêmica e das agências responsáveis por estes empreendimentos em relação ao monitoramento de estruturas que podem oferecer algum risco à população.

2.3 BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

As barragens podem ser construídas com diferentes materiais, tais como: terra, rocha, madeira ou concreto. No estudo de caso da UHE Mauá, a barragem é construída com a tecnologia de Concreto Compactado com Rolo (CCR) e concreto convencional (vertedouro).

O CCR é um método construtivo mais rápido e barato que o concreto convencional. Neste tipo de concreto, o fator água/cimento é bem menor e o concreto é muito seco, não aceitando a convencional vibração, sendo por isso, compactado com rolo, de forma similar à uma barragem de terra (ZUCULIN, 2012).

O desenvolvimento da tecnologia do CCR vem crescendo desde a década de 80, tendo como principal aplicação a construção de barragens. Esta técnica compete diretamente com as barragens de concreto-massa convencional, substituindo muitas vezes as de terra e de enrocamento (ANDRADE, 1997).

Segundo a *Portland Cement Association* (PCA, 1987), o CCR é um material misturado, espalhado e compactado com equipamentos tradicionalmente empregados na pavimentação rodoviária, com consistência seca que permite a compactação por rolos vibratórios.

Em 1982, foi notificado o término, com menos de cinco meses de construção da barragem de Willow Creek, mostrada na Figura 2, com 52 m de altura, localizada nos Estados Unidos da América. Foi a primeira grande barragem no mundo totalmente construída em Concreto Compactado com Rolo, com volume de CCR em torno de 329.000 m³ (ANDRIOLO, 1989).

FIGURA 2 – BARRAGEM DE WILLOW CREEK



FONTE: MUGUIO, 2012.

No Brasil, a primeira barragem deste tipo foi construída em 1986 e é conhecida como Saco de Nova Olinda. Está localizada na Paraíba, com 56 m de altura, 138.000 m³ de concreto e foi concluída em 110 dias (ANDRADE et al., 2003).

A execução de barragens em concreto compactado com rolo (CCR) é muito rápida, quando comparada a outros métodos construtivos. Além disso, WATANABE et al. (2008) apresentam outros benefícios:

- Baixo consumo de mão de obra por volume unitário;
- Alta capacidade de colocação, diminuindo o tempo de execução em relação a outros processos construtivos de barragem de concreto;
- Geração de processo industrial confiável, com melhoria de qualidade ao longo do tempo; e
- Baixo consumo total de material em relação às soluções que utilizam materiais soltos, impactando menos o meio ambiente.

A construção da UHE Mauá é composta por uma barragem de 632.796m³ de concreto compactado com rolo, 745 m de comprimento na crista e 85 m de altura máxima (Figura 3). Iniciou sua operação comercial no dia 23 de novembro de 2012, gerando energia para o abastecimento do Sistema Interligado Nacional (SIN) (CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL, 2018).

FIGURA 3 – COMPORTAS DA USINA HIDRELÉTRICA MAUÁ



FONTE: O AUTOR, 2019.

2.4 MONITORAMENTO DE BARRAGENS

O monitoramento assume um papel importante, pois permite um diagnóstico preciso da obra, comparando os dados com os requisitos de projeto. Há o controle de parâmetros como: deslocamentos horizontais e verticais, movimentos de juntas, temperatura e deformação do concreto, para prevenir ruptura ou fissuramento excessivo durante o período de operação.

O monitoramento é a ferramenta de diagnóstico da saúde da barragem e possibilita intervenções preventivas e corretivas, minimizando o risco de acidentes, preservando a segurança da estrutura, do meio ambiente e de terceiros em sua área de influência.

Toda barragem deve ser instrumentada, de acordo com seu porte e riscos associados e ter os dados analisados periodicamente (MSIB, 2002).

O Department of the Army (1994), dos Estados Unidos, classifica as técnicas de medição e instrumentação para o monitoramento geométrico das deformações de estruturas em dois grupos: os levantamentos geodésicos que incluem os levantamentos terrestres, posicionamento por satélites, levantamento fotogramétrico e algumas técnicas especiais (interferometria, nivelamento hidrostático e outros); e as medidas geotécnicas e estruturais de deformações locais, utilizando extensômetros, inclinômetros, fios de prumo, etc.

Monitorar uma estrutura geodesicamente corresponde à determinação e comparação de coordenadas de pontos obtidos em duas ou mais épocas (SOARES, et al. 2004). Desta forma, deve-se realizar campanhas periódicas de observações, o que permite verificar se houve variações significativas nas coordenadas, que se devidamente analisadas, podem indicar possíveis deslocamentos ou estabilidade.

Segundo CRUZ (2004), há uma crescente valorização dos sistemas de inspeção e observação de obras de engenharia civil, em especial de barragens, em face dos custos e riscos relativos aos grandes empreendimentos. O autor afirma que os principais meios para avaliar a segurança destas construções ao longo de sua vida útil são: inspeções visuais, auscultação geodésica de deslocamentos verticais e/ou horizontais, levantamentos batimétricos e instrumentação de auscultação.

Com o objetivo de reduzir riscos de acidentes nos empreendimentos de barragens, em virtude dos impactos causados por eles, justifica-se a atual preocupação em monitorar barragens com tecnologias atuais. Através do

monitoramento localizam-se pontos da barragem onde há níveis críticos de segurança estrutural e operacional. A estrutural é mais importante, pois compromete a estabilidade da barragem (MACHADO, 2007).

2.5 MONITORAMENTO GEODÉSICO DE BARRAGEM

Conforme o *Department of The Army* (1994), os levantamentos geodésicos têm sido utilizados para a determinação de deslocamentos de pontos, selecionados na superfície do objeto, em relação a alguns pontos de referência, que são assumidos como sendo estáveis.

A partir da utilização dos sistemas globais de navegação por satélite GNSS, a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos da rede geodésica tornou-se corriqueira, muitas vezes, tomando o lugar dos métodos clássicos. A facilidade na execução do levantamento, quando comparado com outras técnicas, tornou-o bastante atrativo (DA CRUZ, 2015).

A combinação de GNSS e estações totais robotizadas têm sido utilizada para selecionar os melhores locais para os pontos de referência bem como dos pontos a serem monitorados. Essa combinação de tecnologias, GNSS e TPS (*Total Positioning Station*), vem provando sua eficiência em diversos projetos (mineração, construção civil, monitoramento da superfície do solo, etc.), mas foi em 2005 que pela primeira vez tal sistema foi aplicado com sucesso para lidar com as especificações desafiadoras da construção da Torre de Burj Khalifa em Dubai, um dos edifícios mais altos do mundo com 828 metros de altura (CRANENBROECK e BALAN, 2012).

No presente estudo será utilizado GNSS para a definição das coordenadas da rede geodésica de referência através do posicionamento pelo método relativo estático utilizando como referência estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Com as coordenadas da rede de monitoramento definidas, estas foram utilizadas como referência para a determinação das coordenadas dos pontos de monitoramento localizados no corpo da barragem pelo método da irradiação utilizando Estação Total robotizada.

2.5.1 Transformação de coordenadas geodésicas

Em atividades ligadas às Ciências Geodésicas, quando é necessário definir a posição de um determinado objeto na superfície da Terra são utilizados os Sistemas Geodésicos de Referência. Além destes Sistemas, as informações posicionais podem ser apresentadas em um sistema de coordenadas tridimensional (DA CRUZ, 2015).

Na transformação parte-se de coordenadas geodésicas (φ , λ e h) de um Sistema Geodésico Cartesiano (SGC) para coordenadas cartesianas tridimensionais (X , Y e Z) no mesmo referencial geodésico. Com as coordenadas cartesianas tridimensionais parte-se para a transformação em coordenadas (E , N e H) no Sistema Geodésico Cartesiano Local (SGCL) e por fim utiliza-se estas coordenadas para a transformação em coordenadas (X_B , Y_B e Z_B) no Sistema da Barragem (SB).

Para a transformação, parte-se do SGC cuja figura geométrica denominada elipsoide de revolução é utilizada para defini-lo. Este referencial consiste em um sistema dextrógiro de eixos triortogonais, com origem no centro de massa da Terra, sendo que o eixo X está contido no plano equatorial e apontado positivamente para o meridiano de Greenwich (longitude 0°), o eixo Y também contido no plano do equador formando um ângulo de 90° com o anterior e o eixo Z paralelo ao eixo de rotação da Terra e orientado positivamente na direção Norte. O elipsóide de revolução, atuando como figura geométrica da Terra, é usado para as técnicas de posicionamento global atuais, a partir da Latitude (φ), Longitude (λ) e altitude (h), como mostra Figura 4 (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

Uma vez conhecidas as coordenadas cartesianas (X, Y e Z) no SGC é possível transformá-las para um SGCL, como mostrado na Figura 4. Para tanto adota-se um ponto como origem do SGCL e as coordenadas neste sistema são calculados através das Equação 2 (ANDRADE, 1988).

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix} = M_1 \times M_3 \times \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sendo:

$$M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi_0 & \cos \varphi_0 \\ 0 & -\cos \varphi_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$M_3 = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\cos \lambda_0 & -\sin \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Portanto:

$$\begin{bmatrix} E \\ N \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \varphi_0 & \cos \varphi_0 \\ 0 & -\cos \varphi_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\cos \lambda_0 & -\sin \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Onde:

E, N, H = coordenadas no SGCL;

φ_0, λ_0 = latitude e longitude geodésica do ponto origem;

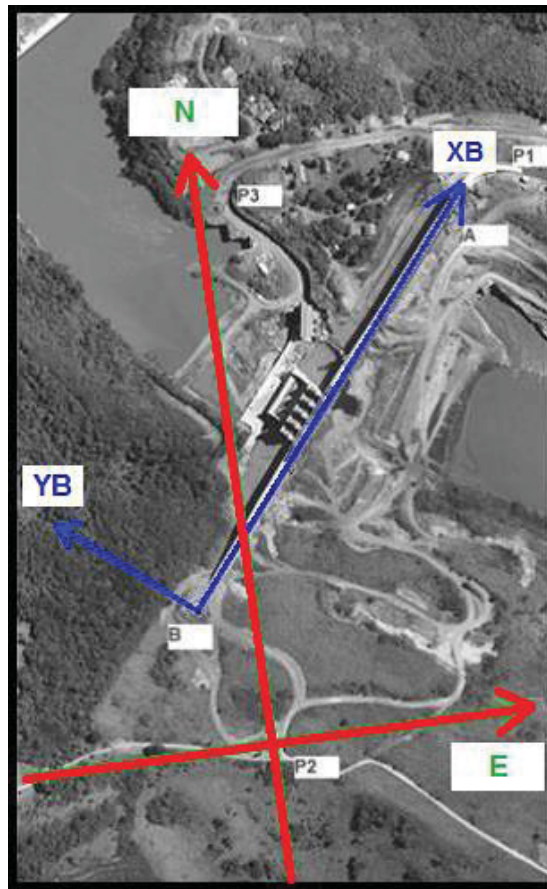
X, Y, Z = coordenadas geodésicas cartesianas do ponto a ser transformado;

X_0, Y_0, Z_0 = coordenadas geodésicas cartesianas do ponto origem.

Com o objetivo de facilitar o entendimento e a interpretação das coordenadas oriundas dos levantamentos no entorno da barragem, foi estabelecido o SB sendo um referencial cartesiano local com um eixo no sentido longitudinal da estrutura com orientação positiva na direção da margem direita “ X_B ”, o eixo perpendicular a este e orientação positiva no sentido do fluxo do rio (montante para jusante) “ Y_B ” e o eixo “ Z_B ” completando o terno do sistema dextrógiro. (DA CRUZ, 2015).

A Figura 5 ilustra a representação do SGCL caracterizado pelos eixos E e N, e o SB pelos eixos X_B e Y_B .

FIGURA 5 – SB E SGCL



FONTE: DA CRUZ, 2015.

Por fim, para transformar as coordenadas do SGCL para o SB, aplica-se o seguinte modelo matemático:

$$\begin{bmatrix} XB \\ YB \\ ZB \end{bmatrix} = R \times \begin{bmatrix} E - E_0 \\ N - N_0 \\ H - H_0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Sendo:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Onde:

XB, YB, ZB = Coordenadas no SB;

θ = ângulo de rotação entre os sistemas;

R = matriz de rotação dos sistemas;

E_0, N_0, H_0 = coordenadas do ponto origem no SGCL;

E, N, H = coordenadas no SGCL do ponto a ser transformado.

2.5.2 Monitoramento Geodésico em tempo real

Segundo o *Department of The Army* (1994), os levantamentos geodésicos terrestres exigem trabalho intensivo e requerem aquisição de observações de forma ágil. Com o desenvolvimento tecnológico é possível utilizar alguns modelos de equipamentos digitais que melhoram a precisão das observações e acabam por minimizar a influência do observador, tornando este tipo de levantamento mais ágil, pois melhora o rendimento em campo e facilita a operação do instrumental utilizado. Logo, o monitoramento e a análise da deformação necessitam de alta precisão, máxima confiabilidade, medições automáticas, cálculo avançado e ferramentas de análise. Um dos desafios é analisar imediatamente os dados medidos e informar à pessoa responsável quando os movimentos excedem as tolerâncias definidas o mais rápido possível.

A automação das medições de deformação por meio de sistemas computacionais começou cedo. Nos anos 80, os primeiros esforços foram feitos em relação ao controle remoto de sensores geodésicos e geotécnicos, usando computadores pessoais e modems analógicos. Desde então, muitos sistemas de software e hardware para monitoramento de deformação foram desenvolvidos em universidades e corporações (ZHIMIN e WENJIE, 2000).

As soluções de monitoramento de estruturas utilizam equipamentos de posicionamento geodésico e topográfico, que podem ser estações totais robotizadas de alta precisão ou receptores GNSS. Para os dois tipos de equipamentos existem vários sistemas proprietários de monitoramento de deformação, feitos pelos fabricantes de sensores (Leica Geosystems, Trimble Navigation e Sokkia/Topcon, entre outros) ou por escritórios de engenharia para seus próprios negócios. Essas soluções geralmente são projetadas como aplicativos isolados e vendidas comercialmente. Os sensores suportados são limitados a tipos ou produtores específicos, e as interfaces para troca de dados e controle remoto não estão abertas a produtos de terceiros, para garantir a exclusividade do fornecedor (ENGEL E SCHWEIMLER, 2016).

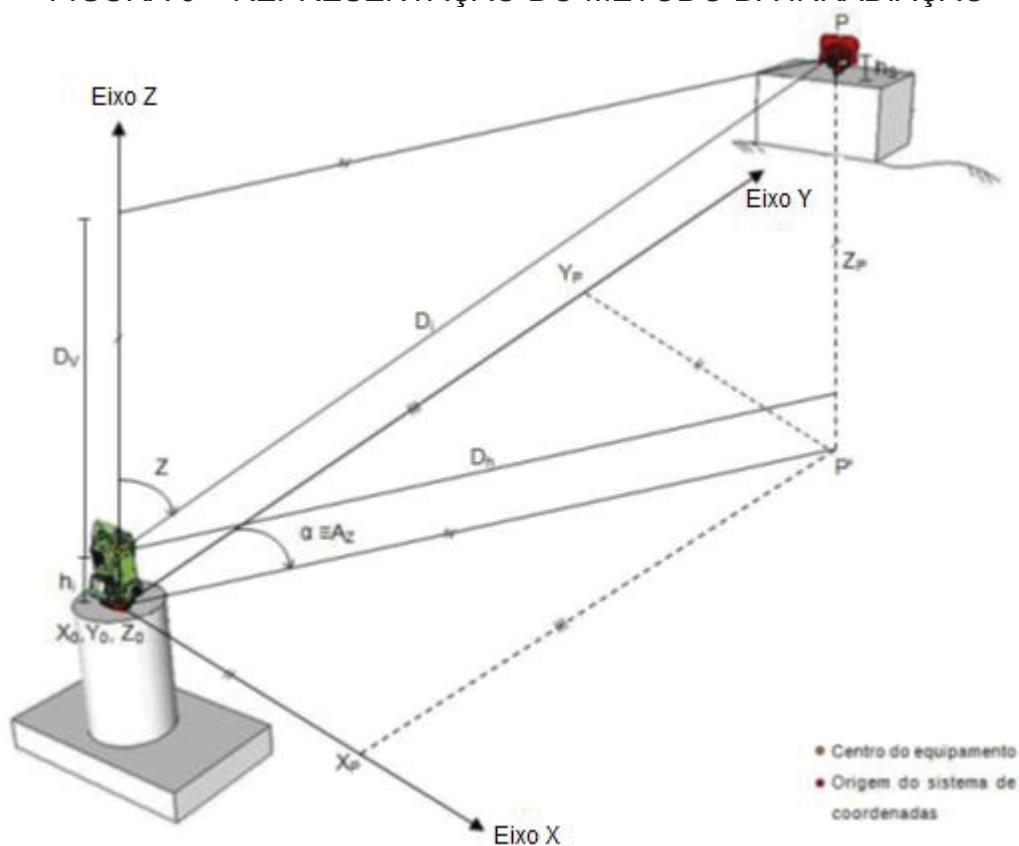
Apesar do progresso em termos de sensores e dispositivos de hardware para controle remoto a fim de diminuir a influência do operador, uma plataforma de software aberta para monitoramento de deformação ainda não está disponível. Por essa razão, esforços estão sendo feitos na comunidade acadêmica para

desenvolver uma solução universal de monitoramento de código aberto com independência de plataforma, funções seguras de controle remoto usando interfaces padronizadas para troca de dados e compatibilidade com ambientes de computação em nuvem (ENGEL E SCHWEIMLER, 2016).

2.5.3 Método da Irradiação

A determinação das coordenadas tridimensionais de um ponto pode ser obtida através do método de irradiação ou também chamado em algumas literaturas de polar. Este é baseado na medida de: direção horizontal (α) medida no plano XY, ângulo zenital (Z) medido no plano vertical que contém o eixo Z e o ponto observado, e a distância inclinada (D_i) medida do equipamento ao ponto considerado como mostra a Figura 6.

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DA IRRADIAÇÃO



FONTE: SIGUEL, 2012.

Atualmente, as observações de distância são realizadas empregando-se os Medidores Eletrônicos de Distância (MED) que funcionam com portadora laser ou

com medidores tradicionais. Estes, dependendo do modelo, podem ou não utilizar refletores posicionados nos pontos de interesse (KAHMEN E FAIG, 1988).

A distância calculada pelo MED é determinada a partir do conhecimento da velocidade de propagação da luz no vácuo, tendo em vista que é a única passível de ser determinada por procedimentos físicos. Contudo, nos trabalhos de levantamentos, nos interessa a velocidade de propagação da luz onde está sendo realizada a medição. Para efetuar esta transformação, os fabricantes dos MED determinam o índice de refração, sendo necessária a medida de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica no momento das observações. Com estes parâmetros realiza-se a correção particular para o local de operação.

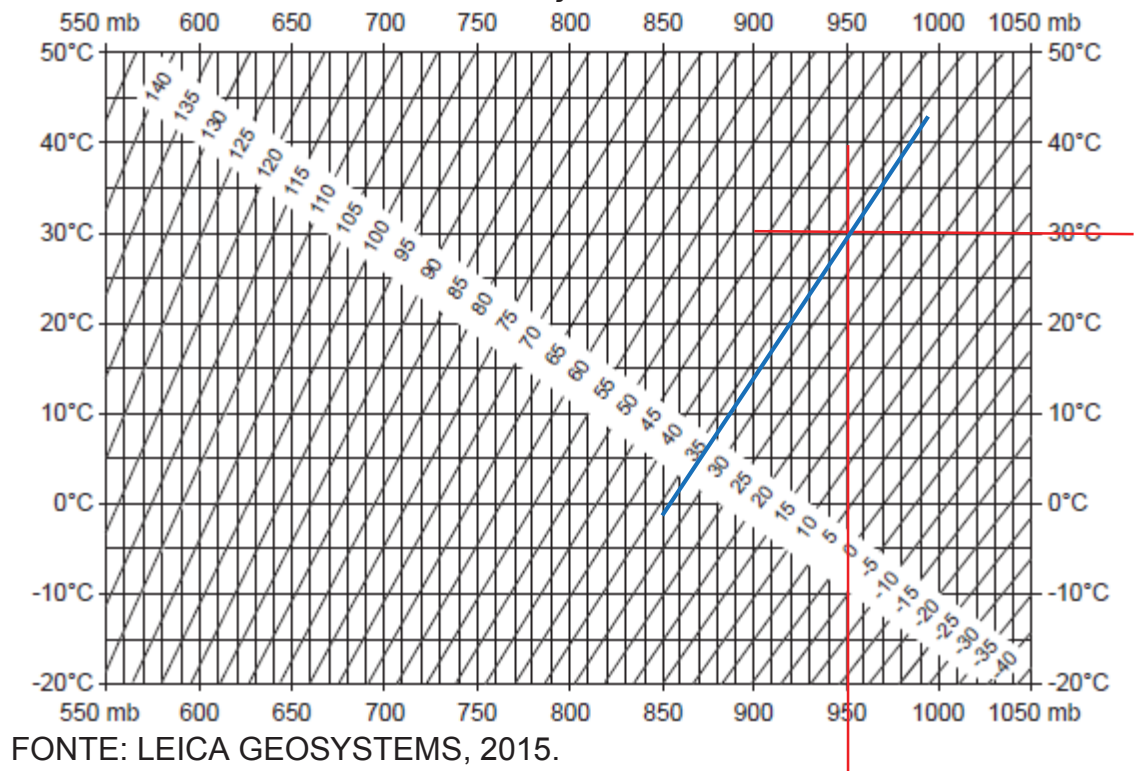
2.5.3.1 Correção da distância eletrônica

As variações nas condições atmosféricas causam um aumento ou diminuição na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, consequentemente, os erros sistemáticos nas medidas das distâncias. A maioria das estações totais permite a aplicação desta correção em tempo real obtendo-a das seguintes maneiras (RÜEGER, 1996):

- a) utilizando o ábaco que acompanha o manual do equipamento;
- b) utilizando as fórmulas que acompanham o manual do equipamento;
- c) utilizando as fórmulas adotadas pela União Geodésica e Geofísica Internacional (UGGI);
- d) utilizando as fórmulas apresentadas por RÜEGER (1996, p.80), para redução de medidas obtidas em levantamentos de alta precisão.

Normalmente nas últimas páginas do manual do equipamento encontra-se o ábaco utilizado para a correção atmosférica. Neste caso, os argumentos de entrada são o valor da temperatura no eixo Y e o valor da pressão atmosférica no eixo X. Com a interseção destes valores encontra-se o valor da correção ambiental da distância inclinada em partes por milhão (ppm) conforme mostra a Figura 7.

FIGURA 7 – ÁBACO DE CORREÇÃO AMBIENTAL DE MED DA TS15



FONTE: LEICA GEOSYSTEMS, 2015.

Todo equipamento possui seu ábaco de correção de medida eletrônica de distância, bem como o formulário utilizado para a correção meteorológica da medição de distâncias eletrônicas. A equação apresentada pelo manual da TS15 é a seguinte:

$$\Delta D_1 = 286,338 - \left[\frac{0,29535 \times p}{(1 + \alpha \times t)} - \frac{4,126 \times 10^{-4} \times h}{(1 + \alpha \times t)} \times 10^x \right] \quad (8)$$

Onde:

ΔD_1 = Correção atmosférica em ppm;

p = Pressão atmosférica (mbar);

t = Temperatura ambiente (°C);

h = Umidade relativa (%);

$$\alpha = \frac{1}{273,15};$$

$$x = \frac{7,5 \times t}{237,3 + t} + 0,7857;$$

2.5.3.2 Obtenção das coordenadas planas X e Y

A obtenção das coordenadas planas dos pontos de interesse é obtida através das equações 9 e 10:

$$X_P = X_0 + D_i \cdot \sin Z \cdot \sin Az \quad (9)$$

$$Y_P = Y_0 + D_i \cdot \sin Z \cdot \cos Az \quad (10)$$

Onde:

X_P, Y_P – Coordenadas do ponto de interesse;

X_0, Y_0 – Coordenadas do ponto de origem;

D_i – Distância inclinada corrigida;

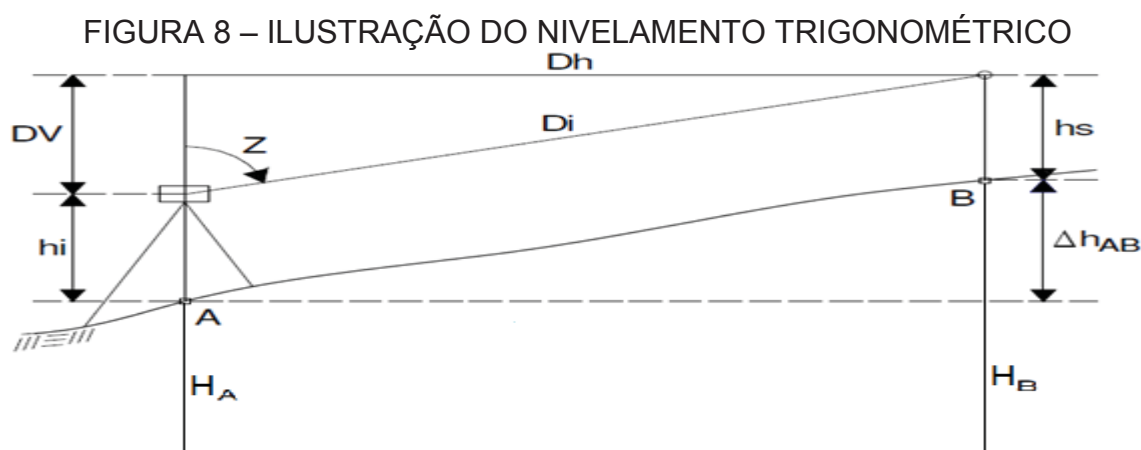
Z – Ângulo zenital;

Az – Azimute.

2.5.3.3 Obtenção da coordenada H utilizando nivelamento trigonométrico para distâncias longas

O nivelamento trigonométrico baseia-se na resolução de um triângulo retângulo. Para tanto, é necessário coletar em campo, informações relativas à distância inclinada, ângulos zenitais, além da altura do instrumento e do refletor já mostrado na Figura 6.

Quando o ângulo zenital é menor que 90° , a representação do nivelamento trigonométrico pode ser vista através da Figura 8.



FONTE: ADAPTADO DE VEIGA ET AL, 2012.

Através da Figura 8 chega-se a conclusão que:

$$H_B = H_A + \Delta h_{AB} \quad (11)$$

Sendo que:

$$\Delta h_{AB} = h_i - h_s + (D_i \times \cos Z) \quad (12)$$

Onde:

H_B - Coordenada H do ponto B;

H_A - Coordenada H do ponto A;

Δh_{AB} = Desnível do ponto A para o ponto B;

h_i = Altura do instrumento;

h_s = Altura do sinal (prisma);

D_i = Distância inclinada corrigida;

Z = Ângulo zenital.

Como no monitoramento de estruturas o equipamento é instalado em pilares de centragem forçada e os prismas refletores são fixos no corpo da barragem, são eliminados a altura do instrumento e do prisma. Assim, a representação do levantamento pode ser vista na Figura 9.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Onde a equação 12 pode ser reduzida como mostra a equação 13:

$$\Delta h_{AB} = D_i \times \cos Z \quad (13)$$

2.5.4 Correção relativa à curvatura da Terra e Refração atmosférica

Em trabalhos de determinação da diferença de altitudes com distância horizontal superior a 150 metros deve-se levar em conta o efeito de curvatura da Terra e o efeito da refração atmosférica. O efeito da curvatura é sempre positivo devendo ser somado às diferenças de nível (BARRY, 1978).

A expressão utilizada neste caso é a mesma que foi apresentada na equação 13, porém com a inclusão de um termo referente à correção relativa a curvatura da Terra e refração atmosférica:

$$C = \left[\frac{Dh^2}{2 \times R} \times (1 - k) \right] \quad (14)$$

Onde:

Dh = Distância horizontal entre os pontos;

R = raio aproximado da Terra, considerado como 6.400.000 m;

k = coeficiente de refração, variável para cada região, ano e horário. No Brasil é utilizado o coeficiente médio $k = 0,13$ (VEIGA et al., 2012).

Associando a correção da equação 14 com a equação 13, a mesma toma a seguinte forma:

$$\Delta h_{AB} = D_i \times \cos Z + \left(\frac{Dh^2}{2 \times R} \times [1 - k] \right) \quad (15)$$

2.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento dos dados levantados será realizado através do sistema desenvolvido por DA CRUZ (2015) na plataforma Matlab® que permite a automação do manejo dos dados obtidos a partir do monitoramento da barragem da UHE Mauá. As observações que alimentam o sistema computacional são obtidas a partir de levantamentos GNSS e terrestres. O sistema realiza os seguintes processos:

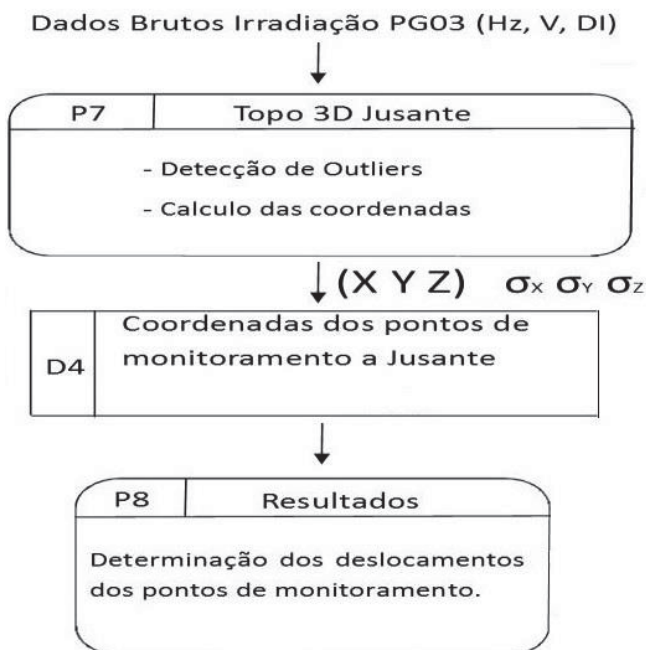
- Reduz para a época inicial as coordenadas obtidas com levantamento GNSS porque os pontos sobre a superfície terrestre estão sujeitos a deslocamentos oriundos dos movimentos das placas litosféricas, e a não consideração destes

movimentos, pode levar a uma interpretação inadequada de possíveis deslocamentos ocasionados por tais movimentos.

- Infere testes estatísticos para verificação de movimentação da rede geodésica;
- Efetua o ajustamento das observações calculando as coordenadas ajustadas dos pontos da rede geodésica de referência, infere testes estatísticos para verificação de movimentações destes pontos da rede.
- Calcula as coordenadas dos pontos de monitoramento engastados no corpo da barragem à jusante, pelo método da irradiação; e
- Detecta e exclui *outliers*;

O software possui uma aba chamada Topo 3D Jusante, esta aba é utilizada para efetuar o cálculo das coordenadas utilizando o método da irradiação através dos dados brutos levantados pelo equipamento, os pontos visados são aqueles localizados no corpo da barragem, à jusante. A Figura 10 mostra o diagrama de fluxo realizado pelo software.

FIGURA 10 – DIAGRAMA DE FLUXO NO TOPO 3D JUSANTE



FONTE: DA CRUZ, 2015.

Os dados de entrada são as leituras de direções horizontais, ângulos verticais, distâncias inclinadas e os dados ambientais. Com esses dados realizam-se

as correções de distâncias em função dos parâmetros ambientais e detecção de *outliers*.

Na sequência são calculadas as coordenadas dos pontos situados à jusante da barragem. No depósito de dados são armazenadas estas coordenadas para os cálculos de deslocamentos dos pontos utilizando os resultados obtidos em outras épocas. Como resultado são determinados os deslocamentos dos pontos de monitoramento.

Os resultados são disponibilizados de duas formas. Uma delas em planilhas contendo os valores numéricos para análises quantitativas. A outra é a representação gráfica dos vetores resultantes e suas respectivas elipses de erro, possibilitando ao usuário observar graficamente os locais onde estão ocorrendo os maiores deslocamentos e encaminhar, se for o caso, para as providências cabíveis.

2.7 PROPAGAÇÃO DE ERROS

Segundo DALMOLIN (2004), classicamente se diz que toda medida contém algum erro, ou seja, não se consegue valores idênticos para um determinado número de observações repetidas de uma grandeza, mas, valores dispersos dentro de um intervalo que é função desses erros.

Conforme GEMAEL et al. (2015), os erros não decorrem apenas de falhas humanas, mas também da imperfeição dos equipamentos e das condições ambientais que envolvem a medição. Assim, ao se executar um trabalho de campo faz-se uma série de observações repetidas de certa grandeza com o objetivo de extrair um único resultado que possa representá-la com um grau de confiança adequado.

As medidas que representam uma mesma quantidade numérica, obtidas por meio de observações, possuem uma dispersão em relação a um valor médio, que é denominado erro randômico ou acidental (DALMOLIN, 2004). Quando se trata do conceito de acurácia, este incorpora tanto a tendência inerente aos erros sistemáticos quanto a precisão devida aos erros aleatórios ou acidentais (MONICO, 2008). Assim, quando não é possível identificar o verdadeiro valor da grandeza, a média aritmética dessas observações é o valor que melhor representa o conjunto. A média é obtida pela equação 16:

$$\bar{\mu} = \frac{\sum \mu_i}{n} \quad (16)$$

Onde:

$\bar{\mu}$ = Média aritmética das n observações;

μ_i = Valor das observações;

n = Número de observações.

A média representa a estimativa de um valor a partir de um conjunto de observações, porém, é necessário estimar-se também a qualidade desses dados, o que levará à precisão da grandeza medida.

Como o valor verdadeiro de uma grandeza nunca é conhecido ou alcançado, o valor médio ou o valor ajustado de um conjunto de observações de uma mesma grandeza pode ser adotado como o valor de referência no lugar do valor verdadeiro. Conforme TAYLOR (2012), o desvio padrão, também descrito como raiz média quadrática, é a maneira mais útil para caracterizar a confiabilidade das medidas.

A variância indica como os valores individuais de cada observação (μ_i) estão distantes do valor médio de um conjunto com n medidas e seu valor é obtido pela equação a seguir:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_i^n (\mu_i - \bar{\mu})^2}{n-1} \quad (16)$$

A covariância descreve a variação recíproca entre duas variáveis aleatórias, sendo expressa em 17:

$$\sigma_{XY} = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (17)$$

A interpretação da propagação dos erros em grandezas medidas a partir de dados iniciais que possuem precisões conhecidas pode ser feita de acordo com a Lei de Propagação das Covariâncias. Nesse caso o valor final da grandeza é calculado usando uma equação de observação linear.

A propagação das covariâncias pode ser expressa através da expressão 18:

$$\Sigma_y = D \times MVC \times D^T \quad (18)$$

Onde:

Σ_y = Resultado da Matriz de Covariâncias.

D = Matriz dos coeficientes da função derivada;

MVC = Matriz Variância-Covariância.

Sendo:

$$D = \frac{\partial F}{\partial X} \Big|_{X^0} = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \frac{\partial y_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial y_2}{\partial x_1} & \frac{\partial y_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial y_m}{\partial x_1} & \frac{\partial y_m}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}_{X^0} \quad (19)$$

$$MVC = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \sigma_{n3} & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Aplicando as equações 9, 10 e 15 para a matriz dos coeficientes da função derivada e para a Matriz Variância-Covariância e realizando a multiplicação das matrizes, o desvio padrão encontrado pela lei de propagação de covariâncias para cada coordenada tridimensional são expressos nas equações 21, 22 e 23.

$$\sigma_x = \pm \sqrt{(\text{sen } Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH \times \cos Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{64800} \right)^2} \quad (21)$$

$$\sigma_y = \pm \sqrt{(\cos Az)^2 \times \sigma_{DH}^2 + (DH \times \text{sen } Az)^2 \times \left(\sigma_{Az} \times \frac{\pi}{64800} \right)^2} \quad (22)$$

$$\sigma_z = \pm \sqrt{(\text{sen } Z)^2 \times \sigma_{DI}^2 + (DI \times \cos Z)^2 \times \left(\sigma_Z \times \frac{\pi}{64800} \right)^2} \quad (23)$$

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A UHE Mauá situa-se na região centro-oeste do Paraná, posicionada nas coordenadas 24°02'24" de latitude Sul e 50°41'33" de longitude Oeste como mostra a Figura 11. Está construída na região do Salto Mauá, porção média do rio Tibagi, na divisa entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira (LACTEC, 2007).

FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DA UHE MAUÁ.



FONTE: DA CRUZ, 2015.

A UHE possui potência total instalada de 363 MW, sendo 352 MW gerados pela usina principal e 11 MW gerados pela usina complementar, instalada junto à barragem para aproveitar a vazão sanitária do rio. Tem capacidade para atender ao consumo de aproximadamente 1 milhão de pessoas (COPEL, 2014).

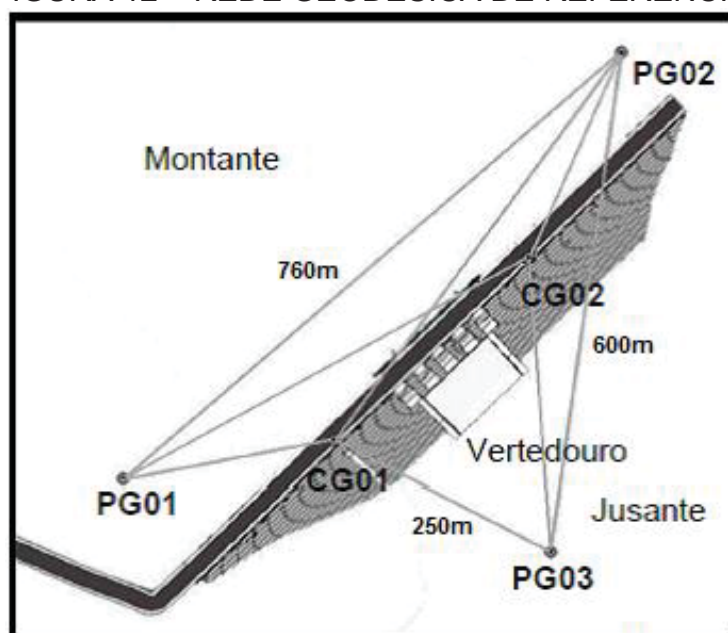
A barragem possui 745m de comprimento na crista e altura máxima de 85m. Seu reservatório atinge, no nível máximo normal, uma área de 83,9km². Localiza-se a 600m à montante da PCH Presidente Vargas responsável pela geração de 22,5 MW de energia para a empresa Klabin S.A. (CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL, 2018).

A UHE Mauá foi construída sobre solo composto predominantemente de arenitos e siltitos com intrusões disseminadas de rochas ígneas básicas. Neste sentido, a UHE Mauá apresenta grande interesse no monitoramento do comportamento da sua estrutura, em razão da menor previsibilidade da geologia, da menor resistência mecânica do solo e maior suscetibilidade às ações hidráulicas e do intemperismo das rochas sedimentares (MUGUIO, 2018).

3.2 REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA

A rede geodésica de referência da UHE Mauá é composta por dois Pilares Geodésicos à montante PG01 e PG02 e um pilar à jusante PG03. Estes têm suas posições materializadas através de sistemas de centragem forçada. Além disso, dois dispositivos de centragem forçada são instalados na crista da barragem CG01 e CG02 permitindo uma ligação entre os pontos à montante e à jusante como mostra a Figura 12.

FIGURA 12 – REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA.



FONTE: DA CRUZ, 2015.

3.3 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

Os principais equipamentos e materiais utilizados no desenvolvimento desta pesquisa foram:

- 2 Receptores GNSS Hiper Lite (dupla frequência) e acessórios;

- 1 Receptor GNSS SmartStation 1200 (dupla frequência) e acessórios;
- 2 Receptores GNSS GS15 (dupla frequência) e acessórios;
- 1 Estação Total Robotizada TCRA1205;
- 1 Estação Total Robotizada TS15;
- 1 Prisma circular GPR111;
- 62 Prismas circulares GPR112;
- 5 Bases nivelantes e adaptadores;
- Software GeoMos;
- Software de processamento (Da Cruz, 2015);
- Sensor STS Digital de pressão e temperatura DTM e acessórios;
- Notebook;
- Inversor de Tensão;
- Bateria e acessórios.

Os equipamentos foram disponibilizados pelo Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e pelo Laboratório de Geodésia aplicada a Engenharia da UFPR.

3.3.1 Receptor GNSS Hiper Lite

O Hiper Lite, conforme mostra a Figura 13, é um Receptor GNSS produzido pela Topcon America Corporation (TAC) e foi utilizado para o levantamento do pilar PG03 e do CG01 da Rede Geodésica de referência.

FIGURA 13 – RECEPTOR GNSS HIPER LITE.



FONTE: O AUTOR, 2019.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Constelações rastreáveis: GPS, Glonass, Galileo e Compass.
- Quantidade de canais: 226
- Transferência de dados: Bluetooth, porta USB e serial (TOPCON, 2018).

3.3.2 Receptor GNSS Smart Station 1200

O Receptor GNSS Smart Station 1200, mostrado na Figura 14 é produzido pela Leica Geosystems e para o levantamento foi utilizado no CG02.

FIGURA 14 – RECEPTOR GNSS LEICA SMART/STATION 1200.



FONTE: LEICA GEOSYSTEMS®, 2018.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Constelações rastreáveis: GPS, Glonass, Galileo e Compass.
- Quantidade de canais: 120
- Transferência de dados: Bluetooth, porta USB e serial.

3.3.3 Receptor GNSS GS15

O receptor GNSS GS15 (Figura 15) também é produzido pela Leica Geosystems sendo utilizado para o levantamento do PG01 e do PG02 da Rede Geodésica de Referência.

FIGURA 15 – RECEPTOR GNSS LEICA GS15.



FONTE: O AUTOR, 2019.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Constelações rastreáveis: GPS, Glonass, Galileo e Compass.
- Quantidade de canais: 120
- Transferência de dados: Bluetooth e porta USB.

3.3.4 Estação Total TS15

A Estação Total TS15, mostrada na Figura 16, começou a ser produzida em 2015 pela Leica Geosystems e é uma estação total robotizada que realiza leituras de direções horizontais, ângulos verticais e distâncias pela função de reconhecimento automático de alvos (ATR). Por ser robotizada, tem-se a vantagem de menor influência do operador.

FIGURA 16 – ESTAÇÃO TOTAL TS15.



FONTE: O AUTOR, 2019.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Precisão da medida angular: 1"; e
- Precisão na medida da distância: 1 mm + 1,5 ppm (LEICA GEOSYSTEMS, 2015).

3.3.5 Estação Total TCRA1205

A Estação Total TCRA1205 começou a ser produzida em 2005 pela Leica Geosystems. É uma estação total robotizada que realiza leituras pela função de ATR de direções horizontais, ângulos verticais e distâncias sem a necessidade da presença do observador.

FIGURA 17 – ESTAÇÃO TOTAL TCRA1205.



FONTE: O AUTOR, 2019.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Precisão da medida angular: 5"; e
- Precisão na medida da distância: 1mm + 1,5ppm (LEICA GEOSYSTEMS, 2008).

3.3.6 Prisma Refletor

O prisma utilizado para o levantamento dos pontos no corpo da barragem foi o GPR112, indicado para mineração e monitoramento. É adequado para o monitoramento por apresentar um filtro que impede a condensação da umidade na superfície refletora (SIGUEL, 2013). Opcionalmente, também podem ser utilizados protetores que cobrem a superfície refletora, protegendo contra a chuva e outras variações climáticas como mostra a Figura 18.

FIGURA 18 – PRISMA GPR112 E PROTETOR.



FONTE: SIGUEL, 2013.

No CG01 da Rede Geodésica de referência utilizou-se o prisma circular GPR111 (Figura 19). Em torno do prisma encontra-se um suporte de polímero vermelho permitindo melhorar a visibilidade quando se realiza trabalhos de mensuração.

FIGURA 19 – PRISMA CIRCULAR GPR 111.



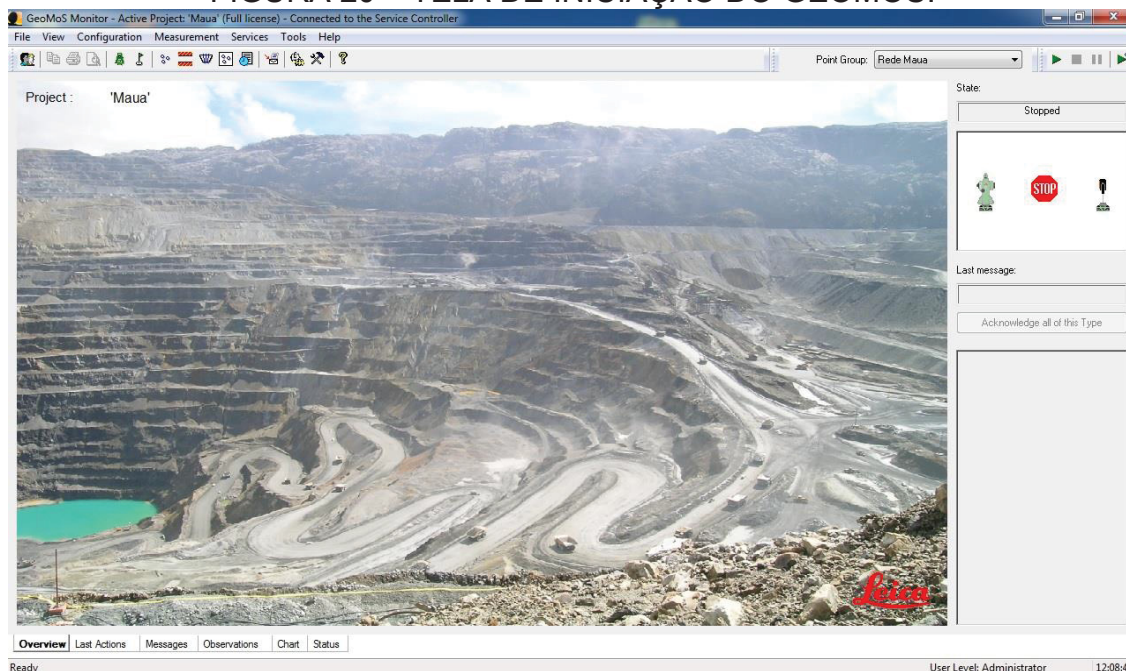
FONTE: O AUTOR, 2019.

3.3.7 Software GeoMos

O termo Geomos é um acrônimo para *Geodetic Monitoring System*. O sistema é fornecido pela Leica Geosystems e é aplicado ao monitoramento da estabilidade de grandes projetos de engenharia civil (por exemplo, edifícios, pontes, túneis, etc.). O Geomos encontrou amplo uso no monitoramento de barragens pois é um sistema automático e contínuo de monitoramento que pode funcionar 24 horas por dia.

Os dados coletados pelas estações totais robotizadas são transmitidos por cabo para o computador equipado com o Geomos. A correção para mudanças de temperatura e atmosférica é feita automaticamente incorporando dados coletados por um sensor de temperatura/pressão atmosférica. A Figura 20 mostra a tela de iniciação do GeoMos.

FIGURA 20 – TELA DE INICIAÇÃO DO GEOMOS.



FONTE: O AUTOR, 2019.

3.3.8 Sensor Digital de pressão e temperatura DTM

O Sensor *Digital Transmitter Measurement* (DTM), mostrado na Figura 21 é um sensor robusto digital de pressão e temperatura produzido pela Sensor Technik Sirmach (STS) que permite medições de pressão e temperatura com precisão de ± 1 mBar e $\pm 0,5^\circ\text{C}$. (STS, 2018).

FIGURA 21 – SENSOR STS DIGITAL DE PRESSÃO E TEMPERATURA.

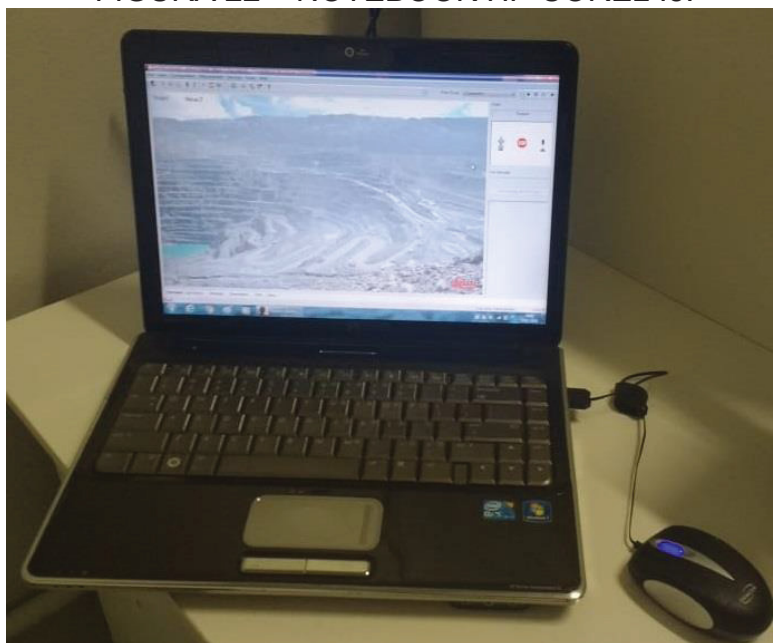


FONTE: STS, 2018.

3.3.9 Notebook

O Notebook HP Intel® Core i5, como mostra a Figura 22, foi utilizado para a operação do GeoMos. O Notebook possui um processador Intel® Celeron® N3060 Dual Core de 1.60 GHz até 2.48 GHz e a duração da bateria é de aproximadamente 2 horas.

FIGURA 22 – NOTEBOOK HP COREL I5.



FONTE: O AUTOR, 2019.

3.3.10 Inversor de Tensão

O inversor de tensão, como mostra a Figura 23, também é conhecido como transformador ou conversor. O equipamento tem como função transformar uma fonte de energia de 12 Volts para 127 Volts com potência máxima de 100 Watts.

FIGURA 23 – INVERSOR DE TENSÃO.



FONTE: O AUTOR, 2018.

Este equipamento foi utilizado para carregar o notebook, haja vista que não foi encontrado ponto de acesso à energia elétrica próximo aos pilares da rede geodésica da barragem e porque a duração do levantamento é de aproximadamente 8 horas, sendo que a bateria do notebook dura apenas 2 horas.

As principais características técnicas deste instrumento são:

- Tensão de Entrada: 10,5 a 15,5V ($\pm 0,3V$)
- Tensão de Saída: AC 110 a 127V
- Potência contínua: 100W;

3.3.11 Bateria e Acendedor de carro

A Bateria e o Acendedor de carro, mostrados na Figura 24, foram utilizados para fornecer energia para todo o sistema durante o levantamento. Fez-se necessário desenvolver esta adaptação porque o inversor de tensão disponível possui plug para acendedor de automóveis. Outro motivo para esta adaptação foi de não depender do automóvel para carregar o sistema, deixando-o disponível para outras ações durante o levantamento.

FIGURA 24 – BATERIA E ACENDEDOR.



FONTE: O AUTOR, 2018.

3.4 METODOLOGIA EMPREGADA

A Figura 25 apresenta um fluxograma com toda a metodologia aplicada no desenvolvimento deste projeto.

FIGURA 25 – METODOLOGIA UTILIZADA



FONTE: O AUTOR, 2019.

A metodologia empregada nesta pesquisa consiste em dividir o monitoramento em duas etapas simultâneas. Uma etapa consiste em realizar o levantamento e processamento da rede geodésica de referência utilizando GNSS para verificar a estabilidade dos pilares geodésicos que são utilizados como referência para a etapa seguinte. A outra etapa consiste em levantar e processar os pontos no corpo da barragem por irradiação com os dois equipamentos e com os dois softwares descritos nesta pesquisa.

3.5 LEVANTAMENTO DA REDE GEODÉSICA POR POSICIONAMENTO GNSS

Os cinco marcos geodésicos da rede são ocupados simultaneamente por receptores GNSS, configurados para um tempo mínimo de rastreamento de 6 horas. Os receptores são identificados em relação aos marcos geodésicos de modo a utilizar o mesmo conjunto marco-receptor em todas as campanhas a fim de minimizar os

erros sistemáticos. A Figura 26 traz um exemplo do receptor instalado no ponto CG02.

FIGURA 26 – RECEPTOR NO PONTO CG02.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Foram realizadas duas seções de rastreamento com uma taxa de gravação de 5 segundos nos dias 24/04/2018 e 09/08/2018, com duração de 16h25min para os Receptores Hiper e duração de 6h34min para os receptores Leica. Obteve-se esta diferença de tempo por ocasião da duração da bateria dos equipamentos.

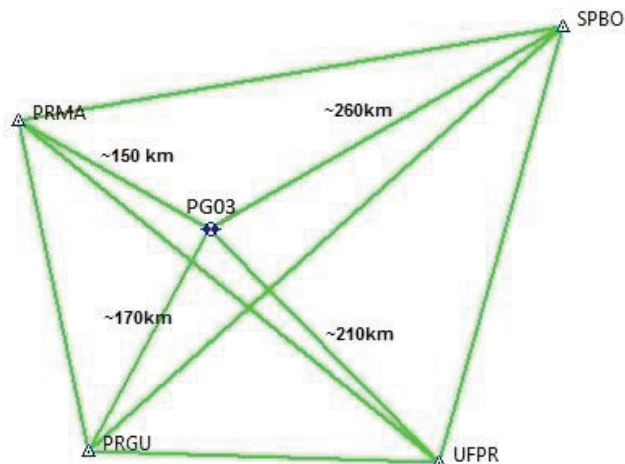
O processamento dos dados GNSS foi realizado empregando o software Topcon Tools, utilizando uma máscara de elevação de 10°, e também efemérides precisas, fornecidas pelo IGS – International GNSS Service (IGS, 2018). Também utilizou-se parâmetros calibrados para as antenas dos receptores, fornecidos pelo NGS – National Geodetic Survey (NGS, 2018).

Para cada linha de base processada foram analisados PDOPs e resíduos, com trechos ruins de satélites sendo eliminados. Para se alcançar um resultado único, realizou-se o ajustamento utilizando o próprio software Topcon Tools.

No ajustamento foram analisadas todas as combinações possíveis entre as linhas de base disponíveis num raio de 300Km e a melhor solução encontrada foi um arranjo com as quatro seguintes bases: UFPR (Curitiba), a uma distância de aproximadamente 210 km; SPBO (Botucatu), a uma distância de aproximadamente 260 km; PRMA (Maringá), a uma distância de aproximadamente 150 km; PRGU (Guarapuava), a uma distância de aproximadamente 170 km do ponto PG03, como

mostra a Figura 27. O resultado do ajustamento é obtido em coordenadas geodésicas (φ , λ e h).

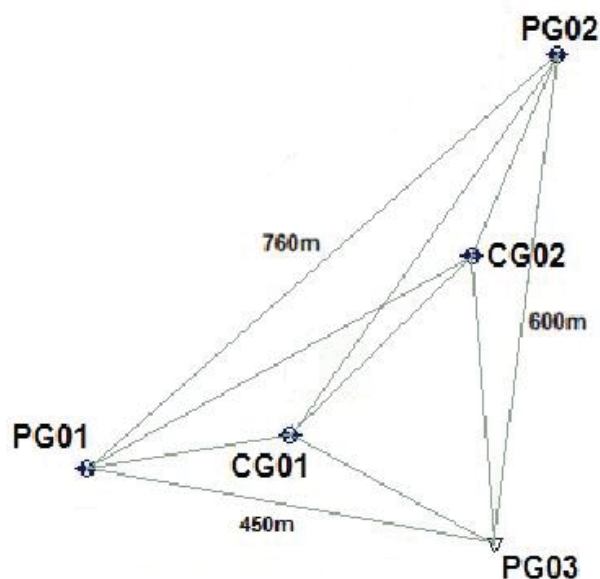
FIGURA 27 – GEOMETRIA DO PROCESSAMENTO COM A RBMC.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Para realizar o processamento dos demais marcos, utiliza-se o PG03 como referência e novamente pelo método relativo estático determinam-se as coordenadas geodésicas (φ , λ e h) dos demais marcos geodésicos como mostra a Figura 28.

FIGURA 28 – GEOMETRIA DO PROCESSAMENTO DA REDE GEODÉSICA.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Após a realização do processamento, é feita a transformação de coordenadas geodésicas para o sistema de coordenadas da barragem aplicando-se os modelos

matemáticos descritos no item 2.5.1. Esta transformação é necessária pois os resultados provenientes do monitoramento de barragens são utilizados, muitas vezes, por profissionais de áreas distintas da Geodésia. Por isso, a transformação para um sistema de referência local, com um dos eixos coincidindo com o alinhamento da barragem, torna mais clara a verificação de deslocamentos, uma vez que são apresentados no sistema cartesiano da barragem (X_B , Y_B e Z_B).

A Tabela 4 mostra as coordenadas geodésicas dos pilares no sistema de referência SIRGAS 2000 obtidas em 24/04/2018 e as coordenadas no sistema da barragem. Estas coordenadas são utilizadas como coordenadas iniciais na realização do levantamento por irradiação.

TABELA 4 – COORDENADAS DOS PILARES DA REDE EM 24/04/2018.

PILAR	COORDENADAS SIRGAS 2000 AJUSTADAS						COORDENADAS NO SB		
	φ	$\sigma\varphi$	λ	$\sigma\lambda$	h (elip.)	σh	X_B	Y_B	Z_B
		(m)		(m)					
CG01	24° 3' 40,99434" S	0,000	50° 42' 24,61883" W	0,000	639,278	0,001	668,645	207,438	0,327
PG01	24° 3' 36,77512" S	0,000	50° 42' 16,21801" W	0,000	643,643	0,001	903,835	73,731	4,644
CG02	24° 3' 49,74256" S	0,000	50° 42' 30,48873" W	0,000	639,201	0,001	352,486	207,069	0,244
PG02	24° 3' 56,47020" S	0,000	50° 42' 31,32360" W	0,000	654,951	0,001	149,125	142,373	15,998
PG03	24° 3' 37,20177" S	0,000	50° 42' 32,31854" W	0,000	588,930	0,001	653,587	453,845	-50,052

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 5 mostra as mesmas coordenadas no mesmo sistema de referência obtidas em 09/08/2018.

TABELA 5 – COORDENADAS DOS PILARES DA REDE EM 09/08/2018.

PILAR	COORDENADAS SIRGAS 2000 AJUSTADAS						COORDENADAS NO SB		
	φ	$\sigma\varphi$	λ	$\sigma\lambda$	h (elip.)	σh	X_B	Y_B	Z_B
		(m)		(m)					
CG01	24° 3' 40,99434" S	0,000	50° 42' 24,61881" W	0,000	639,279	0,001	668,645	207,437	0,328
PG01	24° 3' 36,77514" S	0,000	50° 42' 16,21800" W	0,000	643,641	0,001	903,836	73,731	4,642
CG02	24° 3' 49,74259" S	0,000	50° 42' 30,48871" W	0,000	639,199	0,001	352,485	207,068	0,242
PG02	24° 3' 56,47015" S	0,000	50° 42' 31,32360" W	0,000	654,951	0,001	149,123	142,373	15,998
PG03	24° 3' 37,20177" S	0,000	50° 42' 32,31855" W	0,000	588,930	0,001	653,587	453,845	-50,052

FONTE: O AUTOR, 2019.

OBS: O desvio padrão (σ) das coordenadas no sistema da barragem mantem o mesmo valor do desvio padrão (σ) das coordenadas geodésicas.

A Tabela 6 mostra a diferença das coordenadas entre as duas épocas.

TABELA 6 – DIFERENÇA DAS COORDENADAS DA REDE.

PILAR	DIFERENÇA NO SIRGAS 2000			DIFERENÇAS NO SB					
	φ	λ	h (elip.)	X_B	σX_B	Y_B	σY_B	Z_B	σZ_B
			(m)	(m)		(m)		(m)	
CG01	0° 0' 0,00000" S	-0° 0' 0,00002" W	0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,001
PG01	0° 0' 0,00002" S	-0° 0' 0,00001" W	-0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,001
CG02	0° 0' 0,00003" S	-0° 0' 0,00002" W	-0,002	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,002	0,001
PG02	-0° 0' 0,00005" S	0° 0' 0,00000" W	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
PG03	0° 0' 0,00000" S	0° 0' 0,00001" W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

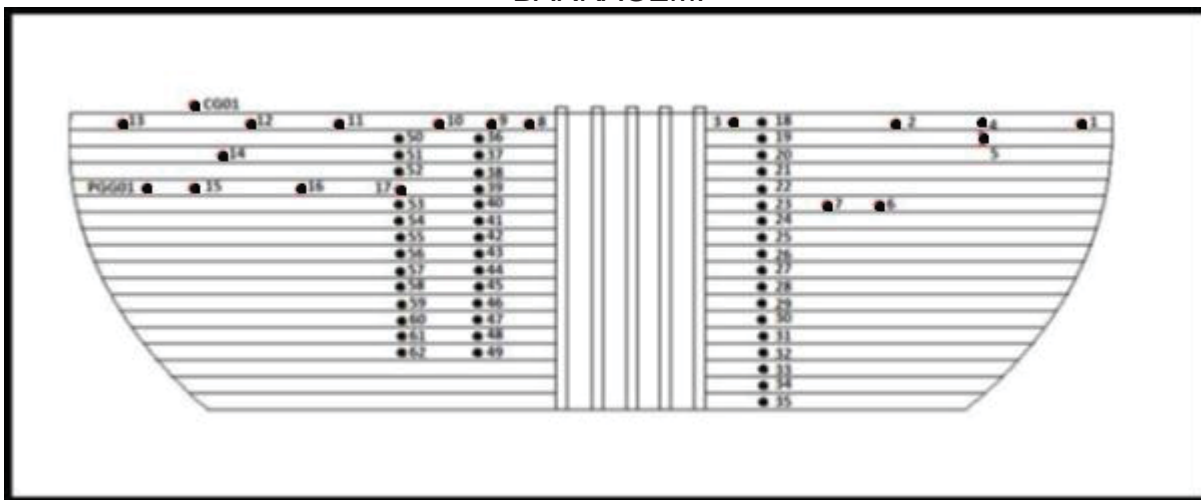
FONTE: O AUTOR, 2019.

Relembrando que a variação máxima tolerável de diferenças horizontais e verticais adotados neste projeto são de 10 e 15 milímetros respectivamente, com isso foi utilizado as coordenadas do PG03 e do CG01 como referência para orientação das estações totais no levantamento dos pontos no corpo da barragem.

3.6 LEVANTAMENTO DOS PONTOS NO CORPO DA BARRAGEM UTILIZANDO GEOMOS

Para o levantamento com o auxílio do GeoMos, realizou-se a comunicação da Estação total e do sensor de temperatura e pressão com o software através dos cabos RS232. Com a comunicação realizada, instalou-se a estação total robótica em PG03 e registrou-se este ponto no software informando as coordenadas levantadas por GNSS no sistema de referência da barragem. Registrou-se também as coordenadas do ponto CG01, para efetuar a orientação da Estação total pelo método de coordenadas conhecidas. Com a orientação concluída, foi necessário realizar a primeira medição manualmente a fim de informar ao software a localização dos prismas no corpo da barragem, conforme mostra a Figura 29.

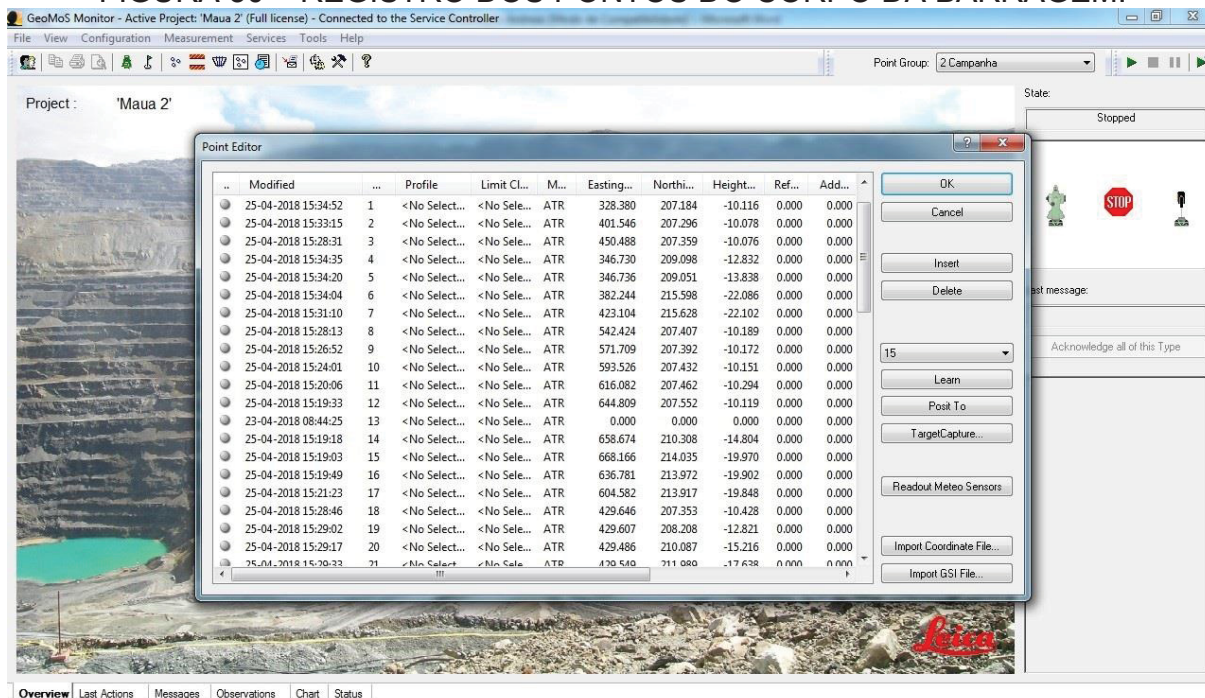
FIGURA 29 – LOCALIZAÇÃO DOS PRISMAS NO CORPO À JUSANTE DA BARRAGEM.



FONTE: ADAPTADO DE DA CRUZ, 2015.

Ao informar esta localização, o GeoMos automaticamente calculou as coordenadas dos pontos de acordo com a orientação realizada, conforme mostra a Figura 30.

FIGURA 30 – REGISTRO DOS PONTOS DO CORPO DA BARRAGEM.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Após este processo o autor informou ao software o intervalo de tempo de coleta de dados, intervalo de tempo entre as séries completas, e iniciou-se o levantamento.

No experimento realizado, cada série de leitura completa pela técnica dos pares conjugados durava cerca de 20 minutos. Para realizar todo o levantamento com os dois equipamentos dentro do horário de expediente da Copel permitido, definiu-se realizar oito séries de leituras com cada equipamento.

Durante o levantamento visualizou-se várias informações enquanto o equipamento estava realizando as leituras. A opção “Chart” geralmente é a mais utilizada pelos usuários, pois possibilita a visualização de diferenças dos dados apurados. Esta aba mostra o gráfico onde é possível visualizar o comportamento dos dados coletados. A Figura 31 mostra o comportamento da temperatura durante o levantamento. Analisando o gráfico percebe-se que a temperatura no início do levantamento era de aproximadamente 23°C e no fim do levantamento era de aproximadamente 31°C.

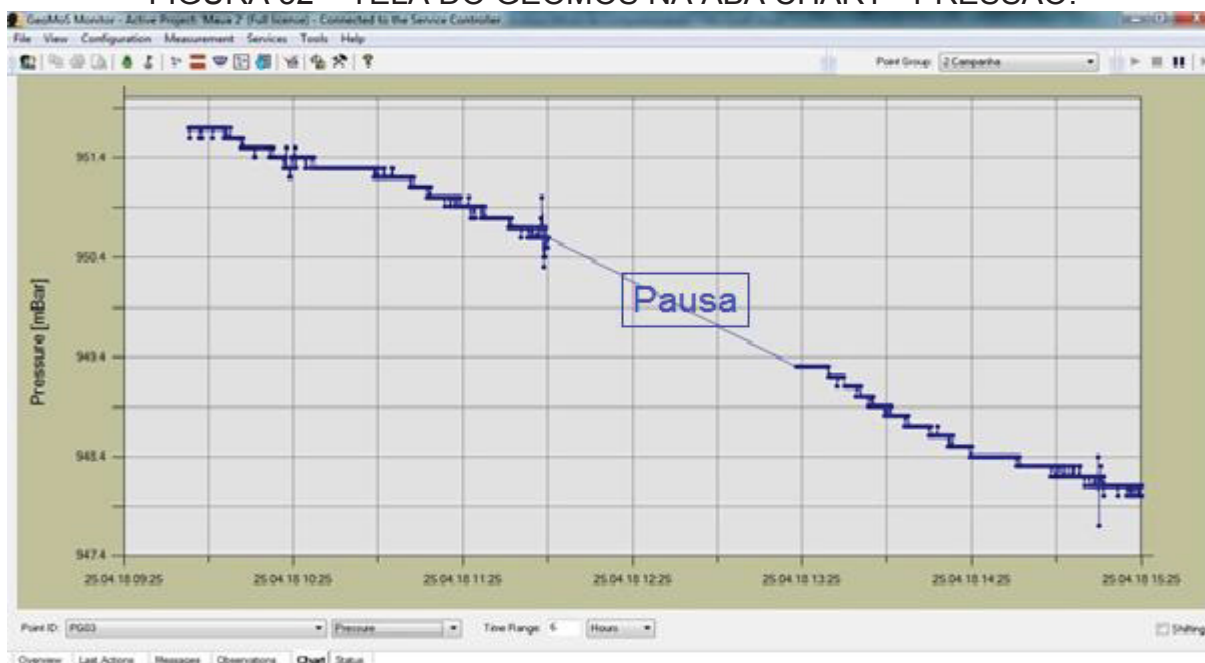
FIGURA 31 – TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - TEMPERATURA.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Nesta aba tem-se a opção de visualizar informações como: direção horizontal, ângulo vertical, distância inclinada, coordenadas calculadas, temperatura e pressão. Cabe ao usuário selecionar o ponto e o dado que deseja para obter o gráfico. A Figura 32 mostra o gráfico da pressão atmosférica no pilar PG03, onde percebe-se que a pressão era de aproximadamente 952 mBar no início do levantamento e no fim este valor era de aproximadamente 948 mBar.

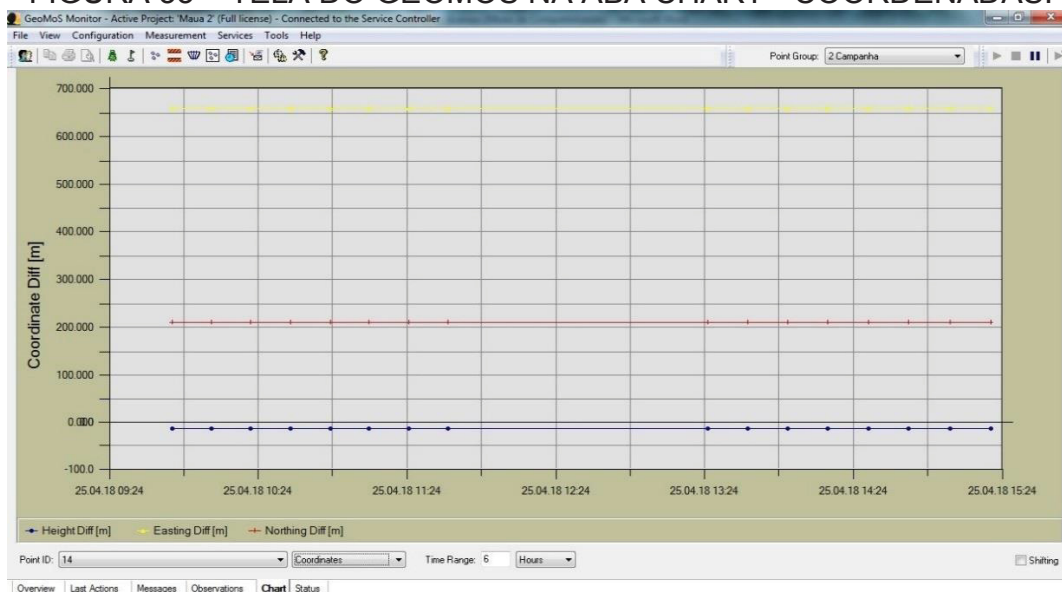
FIGURA 32 – TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - PRESSÃO.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Já a Figura 33 mostra o gráfico das coordenadas X_B , Y_B e Z_B levantadas no ponto 14 da barragem representadas pelas linhas Easting, Northing e Height respectivamente. Devido ao tamanho da escala do gráfico não é possível verificar diferenças na ordem do centímetro das coordenadas.

FIGURA 33 – TELA DO GEOMOS NA ABA CHART - COORDENADAS.



FONTE: O AUTOR, 2019.

3.7 PÓS PROCESSAMENTO

Para efetuar o processamento dos dados com o software desenvolvido por DA CRUZ (2015), descarregou-se os dados levantados pelas estações totais no sistema, selecionando no menu Geodésia – Irradiação Tridimensional – Jusante P3, como mostra a Figura 34. Foi usado apenas a opção “Jusante P3” do sistema, pois o objetivo desta pesquisa é de comparar somente os pontos à jusante do corpo da barragem.

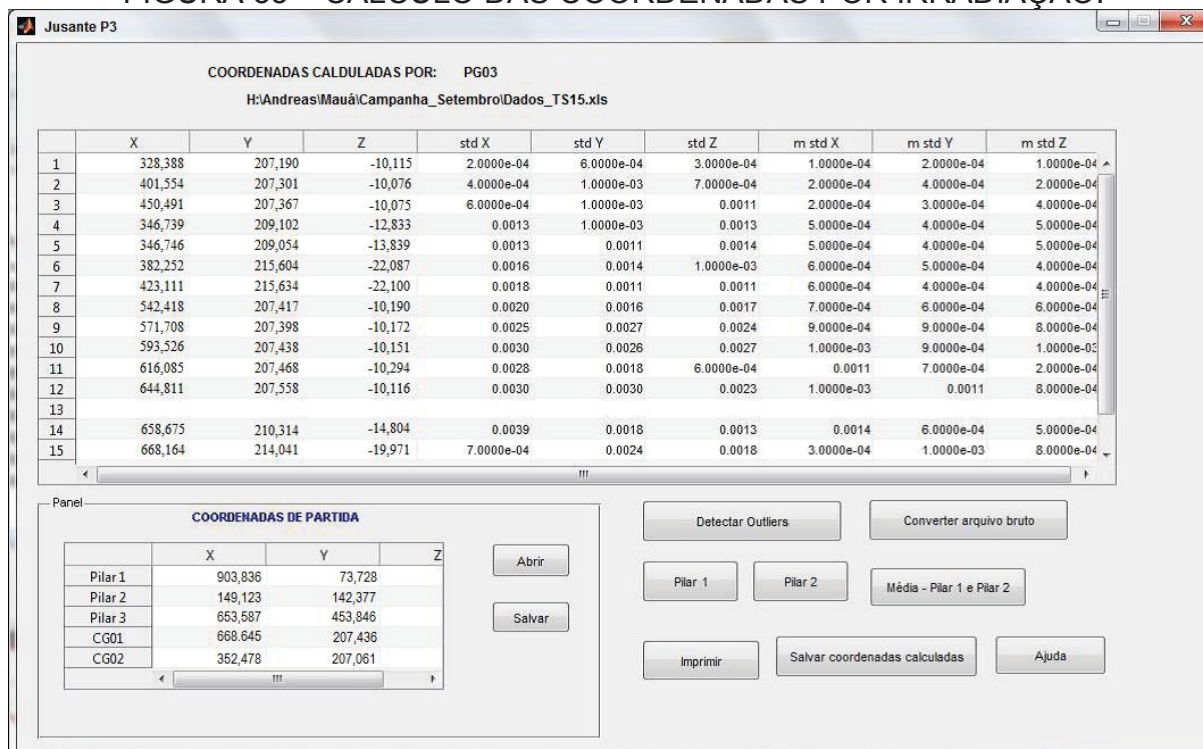
FIGURA 34 – CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO TRIDIMENSIONAL.



FONTE: O AUTOR, 2019.

Na opção Jusante P3, o sistema automaticamente abre uma janela para carregamento dos dados de direções horizontais e ângulos zenitais, distâncias inclinadas e dados atmosféricos. Após a transferência dos dados, o sistema calculou as coordenadas utilizando o método da irradiação, como pode ser observado na Figura 35.

FIGURA 35 – CÁLCULO DAS COORDENADAS POR IRRADIAÇÃO.



FONTE: O AUTOR, 2019.

3.8 CAMPANHAS DE MONITORAMENTO NA UHE MAUÁ

Atendendo ao plano de monitoramento de barragem elaborado pela ANA no Guia para a construção de barragens, mostrado anteriormente na Tabela 1, onde sugere a frequência mínima de leitura em cada período da barragem, as campanhas de monitoramento da barragem da Usina Hidrelétrica Mauá foram realizadas semestralmente, sendo necessárias no mínimo duas campanhas de levantamentos distintas com o intuito de verificar possíveis deslocamentos no período de operação da barragem. Porém, para melhor análise dos resultados dos equipamentos foi realizada mais uma campanha de monitoramento.

Na primeira campanha realizou-se o levantamento GNSS da rede e o levantamento dos pontos de monitoramento através da técnica da irradiação.

Na segunda campanha foi realizado novamente o levantamento GNSS da rede e levantamento dos pontos de monitoramento para a verificação do deslocamento/estabilidade dos pontos. Como suspeitou-se dos resultados encontrados, devido ao fato de que nesta campanha as comportas do vertedouro estavam abertas devido à manutenção nas turbinas, e com isso as névoas de água

poderiam influenciar nas direções e distâncias medidas, realizou-se nova campanha de levantamento com as comportas fechadas para melhor análise do monitoramento.

Na terceira campanha foi feito somente o levantamento dos pontos de monitoramento para se obter dados de análise dos equipamentos.

Durante as campanhas não foi possível realizar leituras no prisma 13 devido à falta de manutenção no local, havia vegetação na linha de visada do ponto 13 obstruindo a medição.

Na Tabela 7 podem ser visualizadas as datas em que foram realizadas cada campanha.

TABELA 7 – DATA DOS LEVANTAMENTOS.

Data	Campanha	Nível de água	Descrição das campanhas
24/04/2018	Primeira	633,43m	Levantamento GNSS da rede geodésica de referência e levantamento dos pontos de monitoramento no corpo da barragem utilizando irradiação.
09/08/2018	Segunda	628,87m	Levantamento GNSS da rede geodésica de referência e levantamento dos pontos de monitoramento no corpo da barragem utilizando irradiação.
05/09/2018	Terceira	628,52m	Levantamento dos pontos de monitoramento no corpo da barragem utilizando irradiação.

FONTE: O AUTOR, 2019.

4 RESULTADOS

As coordenadas obtidas na primeira campanha de levantamento, calculadas a partir do pilar geodésico PG03, são tomadas como referência para os cálculos das diferenças entre as demais épocas. A variação máxima tolerável de diferenças horizontais e verticais adotados neste projeto são de 10 e 15 milímetros respectivamente. Estes valores foram definidos por semelhança aos limites adotados na barragem da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, cujos valores são encontrados no documento intitulado “Instrumentos de Auscultação das obras civis, valores de controle para leituras dos instrumentos” elaborado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 1998).

4.1 RESULTADOS ENCONTRADOS COM OS DIFERENTES EQUIPAMENTOS

Nas Tabelas de 8 a 15 analisa-se os resultados dos diferentes equipamentos desta pesquisa, encontrados com o GeoMos. Os gráficos de 1 a 3 mostram o comportamento das diferenças de coordenadas em toda a barragem.

Na Tabela 8 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em X_B com a Estação TS15 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 8 – DIFERENÇA EM X_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
CG01	668,646 \pm 0,000	668,646 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
1	328,382 \pm 0,001	328,390 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,001
2	401,550 \pm 0,001	401,556 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
3	450,491 \pm 0,001	450,495 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
4	346,734 \pm 0,001	346,741 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,001
5	346,739 \pm 0,001	346,748 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,001
6	382,247 \pm 0,001	382,253 \pm 0,001	-0,007 \pm 0,001
7	423,106 \pm 0,001	423,111 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
8	542,425 \pm 0,001	542,429 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
9	571,712 \pm 0,000	571,714 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,001
10	593,528 \pm 0,000	593,529 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,001
11	616,084 \pm 0,000	616,085 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
12	644,810 \pm 0,000	644,810 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
13	Não encontrado		
14	658,677 \pm 0,000	658,678 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,000
15	668,165 \pm 0,000	668,166 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
16	636,780 \pm 0,000	636,782 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,000
17	604,583 \pm 0,000	604,584 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
18	429,648 \pm 0,001	429,655 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
19	429,611 \pm 0,001	429,616 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
20	429,489 \pm 0,001	429,495 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
21	429,551 \pm 0,001	429,557 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
22	429,655 \pm 0,001	429,660 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
23	429,600 \pm 0,001	429,605 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
24	429,492 \pm 0,001	429,497 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
25	429,419 \pm 0,001	429,423 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
26	429,492 \pm 0,001	429,497 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
27	429,577 \pm 0,001	429,582 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
28	429,498 \pm 0,001	429,504 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
29	429,494 \pm 0,001	429,499 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
30	429,545 \pm 0,001	429,550 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
31	429,552 \pm 0,001	429,559 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,001
32	429,599 \pm 0,001	429,603 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
33	429,634 \pm 0,001	429,639 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
34	429,569 \pm 0,001	429,574 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
35	429,513 \pm 0,001	429,518 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
36	578,216 \pm 0,000	578,219 \pm 0,000	-0,004 \pm 0,001
37	578,229 \pm 0,000	578,232 \pm 0,000	-0,003 \pm 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 8

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
38	578,129 ± 0,000	578,131 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
39	578,038 ± 0,000	578,041 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
40	578,120 ± 0,000	578,122 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
41	578,028 ± 0,000	578,031 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
42	578,110 ± 0,000	578,112 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
43	578,166 ± 0,000	578,168 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
44	578,137 ± 0,000	578,141 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
45	577,978 ± 0,000	577,982 ± 0,000	-0,004 ± 0,001
46	578,097 ± 0,000	578,099 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
47	578,106 ± 0,000	578,110 ± 0,000	-0,004 ± 0,001
48	578,059 ± 0,000	578,063 ± 0,000	-0,004 ± 0,001
49	578,139 ± 0,000	578,143 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
50	605,092 ± 0,000	605,095 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
51	605,079 ± 0,000	605,081 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
52	605,048 ± 0,000	605,051 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
53	605,206 ± 0,000	605,208 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
54	605,050 ± 0,000	605,053 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
55	605,141 ± 0,000	605,144 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
56	605,219 ± 0,000	605,221 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
57	605,203 ± 0,000	605,205 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
58	605,061 ± 0,000	605,063 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
59	605,101 ± 0,000	605,103 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
60	605,131 ± 0,000	605,132 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
61	605,113 ± 0,000	605,113 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
62	605,021 ± 0,000	605,023 ± 0,000	-0,002 ± 0,001

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	-0,004 ± 0,001
---------------	-----------------------

Na Tabela 9 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em Y_B com a Estação TS15 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 9 – DIFERENÇA EM Y_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔY_B
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
CG01	207,427 ± 0,001	207,427 ± 0,001	0,000 ± 0,001
1	207,183 ± 0,001	207,190 ± 0,001	-0,007 ± 0,001
2	207,293 ± 0,001	207,300 ± 0,001	-0,007 ± 0,001
3	207,357 ± 0,001	207,363 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
4	209,095 ± 0,001	209,101 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
5	209,048 ± 0,001	209,054 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
6	215,597 ± 0,001	215,602 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
7	215,628 ± 0,001	215,634 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
8	207,407 ± 0,001	207,412 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
9	207,391 ± 0,001	207,396 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
10	207,432 ± 0,001	207,436 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
11	207,462 ± 0,001	207,467 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
12	207,553 ± 0,001	207,559 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
13	Não encontrado		
14	210,309 ± 0,001	210,314 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
15	214,035 ± 0,001	214,041 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
16	213,973 ± 0,001	213,978 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
17	213,917 ± 0,001	213,923 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
18	207,352 ± 0,001	207,357 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
19	208,205 ± 0,001	208,211 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
20	210,085 ± 0,001	210,091 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
21	211,988 ± 0,001	211,994 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
22	213,795 ± 0,001	213,801 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
23	215,651 ± 0,001	215,657 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
24	217,550 ± 0,001	217,554 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
25	219,388 ± 0,001	219,394 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
26	221,266 ± 0,001	221,272 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
27	223,107 ± 0,001	223,112 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
28	225,004 ± 0,001	225,009 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
29	226,841 ± 0,001	226,847 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
30	228,688 ± 0,001	228,694 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
31	230,584 ± 0,001	230,589 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
32	232,400 ± 0,001	232,407 ± 0,001	-0,007 ± 0,001
33	234,266 ± 0,001	234,273 ± 0,001	-0,007 ± 0,001
34	236,138 ± 0,001	236,143 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
35	238,014 ± 0,001	238,020 ± 0,001	-0,006 ± 0,001
36	208,297 ± 0,001	208,302 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
37	210,176 ± 0,001	210,181 ± 0,001	-0,005 ± 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 9

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔY_B (m)
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
38	212,054 ± 0,001	212,059 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
39	213,893 ± 0,001	213,897 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
40	215,767 ± 0,001	215,772 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
41	217,644 ± 0,001	217,649 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
42	219,486 ± 0,001	219,491 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
43	221,334 ± 0,001	221,340 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
44	223,199 ± 0,001	223,203 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
45	225,074 ± 0,001	225,078 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
46	226,920 ± 0,001	226,924 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
47	228,767 ± 0,001	228,771 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
48	230,659 ± 0,001	230,663 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
49	232,506 ± 0,001	232,511 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
50	208,356 ± 0,001	208,361 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
51	210,210 ± 0,001	210,215 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
52	212,092 ± 0,001	212,097 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
53	215,798 ± 0,001	215,802 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
54	217,657 ± 0,001	217,662 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
55	219,483 ± 0,001	219,487 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
56	221,380 ± 0,001	221,385 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
57	223,215 ± 0,001	223,220 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
58	225,070 ± 0,001	225,075 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
59	226,953 ± 0,001	226,958 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
60	228,782 ± 0,001	228,786 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
61	230,653 ± 0,001	230,658 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
62	232,533 ± 0,001	232,537 ± 0,001	-0,004 ± 0,001

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	-0,005 ± 0,001
---------------	-----------------------

Na Tabela 10 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em Z_B com a Estação TS15 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 10 – DIFERENÇA EM Z_B DA 2ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
CG01	0,327 \pm 0,000	0,328 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
1	-10,115 \pm 0,001	-10,115 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
2	-10,077 \pm 0,000	-10,078 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
3	-10,076 \pm 0,000	-10,077 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
4	-12,833 \pm 0,000	-12,832 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
5	-13,839 \pm 0,000	-13,840 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
6	-22,086 \pm 0,000	-22,089 \pm 0,001	0,003 \pm 0,001
7	-22,104 \pm 0,000	-22,105 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
8	-10,191 \pm 0,000	-10,190 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
9	-10,172 \pm 0,000	-10,172 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
10	-10,151 \pm 0,000	-10,152 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001
11	-10,295 \pm 0,000	-10,296 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001
12	-10,116 \pm 0,000	-10,117 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
13	Não encontrado		
14	-14,804 \pm 0,000	-14,804 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
15	-19,972 \pm 0,000	-19,971 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
16	-19,901 \pm 0,000	-19,900 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
17	-19,850 \pm 0,000	-19,849 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
18	-10,428 \pm 0,000	-10,428 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
19	-12,822 \pm 0,000	-12,823 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
20	-15,215 \pm 0,000	-15,216 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
21	-17,639 \pm 0,000	-17,638 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
22	-20,062 \pm 0,000	-20,062 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
23	-22,334 \pm 0,000	-22,335 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
24	-24,917 \pm 0,000	-24,917 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
25	-27,260 \pm 0,000	-27,261 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
26	-29,663 \pm 0,000	-29,662 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
27	-31,987 \pm 0,000	-31,986 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
28	-34,376 \pm 0,000	-34,376 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
29	-36,843 \pm 0,000	-36,842 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
30	-39,183 \pm 0,000	-39,183 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
31	-41,589 \pm 0,000	-41,588 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,001
32	-43,963 \pm 0,000	-43,961 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
33	-46,410 \pm 0,000	-46,408 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,001
34	-48,732 \pm 0,000	-48,731 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
35	-51,067 \pm 0,000	-51,066 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
36	-12,739 \pm 0,000	-12,739 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
37	-15,118 \pm 0,000	-15,119 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 10

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
38	-17,467 \pm 0,000	-17,468 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001
39	-19,943 \pm 0,000	-19,942 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
40	-22,186 \pm 0,000	-22,185 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,001
41	-24,734 \pm 0,000	-24,734 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
42	-26,956 \pm 0,000	-26,955 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
43	-29,524 \pm 0,000	-29,523 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
44	-31,877 \pm 0,000	-31,876 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
45	-34,305 \pm 0,000	-34,305 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
46	-36,798 \pm 0,000	-36,797 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
47	-39,026 \pm 0,000	-39,025 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
48	-41,575 \pm 0,000	-41,575 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
49	-43,919 \pm 0,000	-43,919 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
50	-12,791 \pm 0,000	-12,790 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
51	-15,132 \pm 0,000	-15,133 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001
52	-17,542 \pm 0,000	-17,542 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
53	-22,206 \pm 0,000	-22,206 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
54	-24,766 \pm 0,000	-24,765 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
55	-27,036 \pm 0,000	-27,036 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
56	-29,620 \pm 0,000	-29,621 \pm 0,000	0,001 \pm 0,000
57	-31,999 \pm 0,000	-31,999 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
58	-34,369 \pm 0,000	-34,369 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
59	-36,763 \pm 0,000	-36,763 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
60	-39,179 \pm 0,000	-39,177 \pm 0,000	-0,001 \pm 0,000
61	-41,477 \pm 0,000	-41,475 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,000
62	-43,881 \pm 0,000	-43,882 \pm 0,000	0,001 \pm 0,000

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	0,000 \pm 0,001
---------------	-------------------------------------

Na Tabela 11 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em X_B com a Estação TCRA1205 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 11 – DIFERENÇA EM X_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos à jusante com TCRA1205 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
CG01	668,646 \pm 0,001	668,646 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
1	328,389 \pm 0,001	328,395 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
2	401,555 \pm 0,001	401,560 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
3	450,492 \pm 0,001	450,494 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
4	346,741 \pm 0,001	346,747 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
5	346,747 \pm 0,001	346,752 \pm 0,002	-0,005 \pm 0,002
6	382,253 \pm 0,001	382,257 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
7	423,112 \pm 0,001	423,114 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
8	542,420 \pm 0,001	542,426 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
9	571,709 \pm 0,001	571,717 \pm 0,002	-0,008 \pm 0,002
10	593,527 \pm 0,001	593,535 \pm 0,002	-0,008 \pm 0,002
11	616,086 \pm 0,001	616,092 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
12	644,813 \pm 0,001	644,815 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
13	Não encontrado		
14	658,677 \pm 0,001	658,678 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
15	668,165 \pm 0,001	668,166 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
16	636,783 \pm 0,001	636,786 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
17	604,584 \pm 0,001	604,590 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
18	429,654 \pm 0,001	429,655 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
19	429,614 \pm 0,001	429,617 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
20	429,493 \pm 0,001	429,495 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
21	429,556 \pm 0,001	429,558 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
22	429,659 \pm 0,001	429,661 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
23	429,605 \pm 0,001	429,606 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
24	429,496 \pm 0,001	429,499 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
25	429,424 \pm 0,001	429,426 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
26	429,497 \pm 0,001	429,499 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
27	429,582 \pm 0,001	429,584 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
28	429,503 \pm 0,001	429,505 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
29	429,499 \pm 0,001	429,502 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
30	429,549 \pm 0,001	429,552 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
31	429,557 \pm 0,001	429,560 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
32	429,603 \pm 0,001	429,606 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
33	429,639 \pm 0,001	429,642 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
34	429,573 \pm 0,001	429,577 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
35	429,519 \pm 0,001	429,521 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
36	578,214 \pm 0,001	578,222 \pm 0,002	-0,009 \pm 0,002
37	578,226 \pm 0,001	578,235 \pm 0,002	-0,009 \pm 0,002

CONTINUAÇÃO DA TABELA 11

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
38	578,126 \pm 0,001	578,135 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
39	578,035 \pm 0,001	578,043 \pm 0,001	-0,009 \pm 0,002
40	578,116 \pm 0,001	578,125 \pm 0,001	-0,009 \pm 0,002
41	578,026 \pm 0,001	578,033 \pm 0,001	-0,007 \pm 0,002
42	578,108 \pm 0,001	578,115 \pm 0,001	-0,007 \pm 0,002
43	578,163 \pm 0,001	578,171 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
44	578,135 \pm 0,001	578,143 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
45	577,976 \pm 0,001	577,984 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
46	578,094 \pm 0,001	578,102 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
47	578,102 \pm 0,001	578,111 \pm 0,001	-0,009 \pm 0,002
48	578,057 \pm 0,001	578,064 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002
49	578,136 \pm 0,001	578,144 \pm 0,001	-0,009 \pm 0,002
50	605,094 \pm 0,001	605,101 \pm 0,002	-0,007 \pm 0,002
51	605,080 \pm 0,001	605,087 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
52	605,049 \pm 0,001	605,056 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
53	605,208 \pm 0,001	605,214 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
54	605,051 \pm 0,001	605,057 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
55	605,143 \pm 0,001	605,149 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
56	605,221 \pm 0,001	605,226 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
57	605,204 \pm 0,001	605,210 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
58	605,061 \pm 0,001	605,068 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
59	605,103 \pm 0,001	605,109 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,002
60	605,131 \pm 0,001	605,137 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
61	605,112 \pm 0,001	605,118 \pm 0,001	-0,006 \pm 0,002
62	605,020 \pm 0,001	605,028 \pm 0,001	-0,008 \pm 0,002

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	-0,005 \pm 0,002
---------------	--------------------------------------

Na Tabela 12 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em Y_B com a Estação TCRA1205 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 12 – DIFERENÇA EM Y_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos à jusante com TCRA1205 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔY_B
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
CG01	207,433 ± 0,001	207,433 ± 0,001	0,000 ± 0,001
1	207,188 ± 0,002	207,182 ± 0,002	-0,006 ± 0,003
2	207,300 ± 0,002	207,296 ± 0,002	-0,003 ± 0,002
3	207,366 ± 0,001	207,364 ± 0,001	-0,002 ± 0,002
4	209,100 ± 0,002	209,095 ± 0,002	-0,006 ± 0,003
5	209,053 ± 0,002	209,047 ± 0,002	-0,005 ± 0,003
6	215,602 ± 0,002	215,598 ± 0,002	-0,004 ± 0,002
7	215,632 ± 0,002	215,631 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
8	207,417 ± 0,001	207,414 ± 0,001	-0,003 ± 0,002
9	207,398 ± 0,001	207,395 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
10	207,438 ± 0,001	207,435 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
11	207,467 ± 0,001	207,467 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
12	207,558 ± 0,001	207,558 ± 0,001	0,000 ± 0,001
13	Não encontrado		
14	210,314 ± 0,001	210,314 ± 0,001	0,000 ± 0,001
15	214,041 ± 0,001	214,041 ± 0,001	0,000 ± 0,001
16	213,978 ± 0,001	213,978 ± 0,001	0,000 ± 0,001
17	213,923 ± 0,001	213,922 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
18	207,357 ± 0,001	207,356 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
19	208,212 ± 0,001	208,209 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
20	210,091 ± 0,001	210,089 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
21	211,994 ± 0,001	211,992 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
22	213,801 ± 0,001	213,799 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
23	215,657 ± 0,001	215,655 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
24	217,555 ± 0,001	217,553 ± 0,002	-0,003 ± 0,002
25	219,394 ± 0,001	219,392 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
26	221,272 ± 0,001	221,270 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
27	223,112 ± 0,001	223,110 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
28	225,010 ± 0,001	225,007 ± 0,002	-0,003 ± 0,002
29	226,847 ± 0,001	226,844 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
30	228,694 ± 0,001	228,691 ± 0,002	-0,003 ± 0,002
31	230,589 ± 0,001	230,587 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
32	232,406 ± 0,001	232,403 ± 0,002	-0,003 ± 0,002
33	234,271 ± 0,001	234,269 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
34	236,143 ± 0,001	236,140 ± 0,002	-0,004 ± 0,002
35	238,018 ± 0,001	238,017 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
36	208,303 ± 0,001	208,301 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
37	210,183 ± 0,001	210,180 ± 0,001	-0,003 ± 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 12

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔY_B (m)
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
38	212,060 ± 0,001	212,058 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
39	213,900 ± 0,001	213,897 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
40	215,774 ± 0,001	215,771 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
41	217,651 ± 0,001	217,648 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
42	219,493 ± 0,001	219,490 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
43	221,341 ± 0,001	221,338 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
44	223,205 ± 0,001	223,203 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
45	225,080 ± 0,001	225,078 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
46	226,926 ± 0,001	226,924 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
47	228,774 ± 0,001	228,771 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
48	230,665 ± 0,001	230,663 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
49	232,513 ± 0,001	232,510 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
50	208,361 ± 0,001	208,360 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
51	210,215 ± 0,001	210,214 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
52	212,097 ± 0,001	212,096 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
53	215,803 ± 0,001	215,801 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
54	217,662 ± 0,001	217,660 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
55	219,488 ± 0,001	219,486 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
56	221,385 ± 0,001	221,384 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
57	223,221 ± 0,001	223,219 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
58	225,076 ± 0,001	225,074 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
59	226,958 ± 0,001	226,957 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
60	228,787 ± 0,001	228,786 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
61	230,659 ± 0,001	230,657 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
62	232,538 ± 0,001	232,537 ± 0,001	-0,002 ± 0,001

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	-0,002 ± 0,002
---------------	-----------------------

Na Tabela 13 podem ser visualizadas as diferenças das coordenadas encontradas em Z_B com a Estação TCRA1205 dos sessenta e dois pontos de monitoramento à jusante calculados com o software GeoMos entre a primeira e a segunda campanha.

TABELA 13 – DIFERENÇA EM Z_B DA 2ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos à jusante com TCRA1205 e Geomos			
ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
CG01	0,327 ± 0,002	0,327 ± 0,002	0,000 ± 0,002
1	-10,115 ± 0,002	-10,111 ± 0,002	-0,004 ± 0,004
2	-10,076 ± 0,002	-10,075 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
3	-10,075 ± 0,002	-10,074 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
4	-12,833 ± 0,002	-12,830 ± 0,002	-0,004 ± 0,003
5	-13,839 ± 0,002	-13,836 ± 0,002	-0,002 ± 0,003
6	-22,087 ± 0,002	-22,084 ± 0,002	-0,003 ± 0,003
7	-22,100 ± 0,002	-22,100 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
8	-10,190 ± 0,002	-10,188 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
9	-10,172 ± 0,002	-10,170 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
10	-10,151 ± 0,002	-10,151 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
11	-10,294 ± 0,002	-10,293 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
12	-10,116 ± 0,002	-10,115 ± 0,002	-0,001 ± 0,002
13	Não encontrado		
14	-14,804 ± 0,001	-14,802 ± 0,001	-0,002 ± 0,002
15	-19,971 ± 0,001	-19,970 ± 0,001	-0,001 ± 0,002
16	-19,900 ± 0,001	-19,898 ± 0,001	-0,002 ± 0,002
17	-19,849 ± 0,001	-19,847 ± 0,001	-0,002 ± 0,002
18	-10,426 ± 0,002	-10,426 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
19	-12,821 ± 0,002	-12,820 ± 0,002	0,000 ± 0,003
20	-15,213 ± 0,002	-15,213 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
21	-17,637 ± 0,002	-17,637 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
22	-20,061 ± 0,002	-20,060 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
23	-22,333 ± 0,002	-22,332 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
24	-24,916 ± 0,002	-24,914 ± 0,002	-0,003 ± 0,003
25	-27,258 ± 0,002	-27,257 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
26	-29,661 ± 0,002	-29,660 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
27	-31,985 ± 0,002	-31,983 ± 0,002	-0,002 ± 0,003
28	-34,375 ± 0,002	-34,374 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
29	-36,840 ± 0,002	-36,839 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
30	-39,182 ± 0,002	-39,180 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
31	-41,587 ± 0,002	-41,585 ± 0,002	-0,002 ± 0,003
32	-43,962 ± 0,002	-43,959 ± 0,002	-0,002 ± 0,003
33	-46,407 ± 0,002	-46,406 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
34	-48,729 ± 0,002	-48,729 ± 0,002	0,000 ± 0,003
35	-51,063 ± 0,002	-51,062 ± 0,002	-0,001 ± 0,003
36	-12,739 ± 0,002	-12,737 ± 0,002	-0,002 ± 0,002
37	-15,118 ± 0,002	-15,117 ± 0,002	-0,002 ± 0,002

CONTINUAÇÃO DA TABELA 13

ID	1ª Campanha	2ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
38	-17,467 \pm 0,002	-17,466 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
39	-19,941 \pm 0,002	-19,940 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
40	-22,185 \pm 0,002	-22,184 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
41	-24,734 \pm 0,002	-24,733 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
42	-26,954 \pm 0,001	-26,953 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
43	-29,523 \pm 0,001	-29,521 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
44	-31,876 \pm 0,001	-31,874 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
45	-34,304 \pm 0,001	-34,302 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
46	-36,796 \pm 0,001	-36,795 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
47	-39,025 \pm 0,001	-39,023 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
48	-41,574 \pm 0,001	-41,572 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
49	-43,918 \pm 0,001	-43,915 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
50	-12,790 \pm 0,002	-12,789 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
51	-15,133 \pm 0,002	-15,132 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
52	-17,540 \pm 0,001	-17,540 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
53	-22,205 \pm 0,001	-22,204 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
54	-24,765 \pm 0,001	-24,764 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
55	-27,036 \pm 0,001	-27,034 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
56	-29,620 \pm 0,001	-29,619 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
57	-31,998 \pm 0,001	-31,997 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
58	-34,368 \pm 0,001	-34,366 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
59	-36,762 \pm 0,001	-36,761 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
60	-39,178 \pm 0,001	-39,176 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
61	-41,474 \pm 0,001	-41,473 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
62	-43,880 \pm 0,001	-43,879 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002

FONTE: O AUTOR, 2019.

MÉDIA:	-0,002 \pm 0,002
---------------	--------------------------------------

Como a diferença em X_B foi maior do que em Y_B e em Z_B na TCRA1205 e maior que em Z_B na TS15, suspeitou-se do resultado. Vale lembrar que na primeira campanha as comportas do vertedouro estavam fechadas e na segunda campanha as comportas do vertedouro estavam abertas.

Com isso fez-se necessário mais uma campanha de monitoramento com as comportas fechadas para melhor análise do resultado.

A Tabela 14 apresenta as diferenças encontradas em X_B com a Estação TS15 à jusante calculados com o GeoMos na terceira campanha de levantamento.

TABELA 14 – DIFERENÇA EM X_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
CG01	668,646 \pm 0,000	668,646 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
1	328,380 \pm 0,001	328,383 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
2	401,548 \pm 0,001	401,549 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
3	450,489 \pm 0,001	450,490 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
4	346,731 \pm 0,001	346,736 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
5	346,737 \pm 0,001	346,740 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
6	382,244 \pm 0,001	382,244 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
7	423,104 \pm 0,001	423,106 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
8	542,423 \pm 0,001	542,423 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
9	571,711 \pm 0,000	571,711 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
10	593,526 \pm 0,000	593,525 \pm 0,000	0,001 \pm 0,001
11	616,082 \pm 0,000	616,082 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
12	644,809 \pm 0,000	644,806 \pm 0,000	0,003 \pm 0,000
13	Não encontrado		
14	658,675 \pm 0,000	658,675 \pm 0,000	0,000 \pm 0,000
15	668,164 \pm 0,000	668,161 \pm 0,000	0,003 \pm 0,000
16	636,779 \pm 0,000	636,777 \pm 0,000	0,002 \pm 0,000
17	604,582 \pm 0,000	604,582 \pm 0,000	0,000 \pm 0,001
18	429,647 \pm 0,001	429,647 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
19	429,609 \pm 0,001	429,610 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
20	429,487 \pm 0,001	429,490 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
21	429,549 \pm 0,001	429,552 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
22	429,653 \pm 0,001	429,654 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
23	429,598 \pm 0,001	429,599 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
24	429,489 \pm 0,001	429,489 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
25	429,417 \pm 0,001	429,416 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
26	429,490 \pm 0,001	429,491 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
27	429,575 \pm 0,001	429,575 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
28	429,496 \pm 0,001	429,497 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
29	429,492 \pm 0,001	429,492 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
30	429,542 \pm 0,001	429,542 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
31	429,550 \pm 0,001	429,550 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
32	429,596 \pm 0,001	429,596 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
33	429,631 \pm 0,001	429,634 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
34	429,566 \pm 0,001	429,566 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
35	429,510 \pm 0,001	429,511 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
36	578,214 \pm 0,000	578,217 \pm 0,000	-0,003 \pm 0,001
37	578,227 \pm 0,000	578,229 \pm 0,000	-0,002 \pm 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 14

ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
38	578,127 ± 0,000	578,127 ± 0,000	0,000 ± 0,001
39	578,036 ± 0,000	578,035 ± 0,000	0,001 ± 0,001
40	578,118 ± 0,000	578,118 ± 0,000	0,000 ± 0,001
41	578,027 ± 0,000	578,028 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
42	578,108 ± 0,000	578,110 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
43	578,165 ± 0,000	578,166 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
44	578,136 ± 0,000	578,135 ± 0,000	0,001 ± 0,001
45	577,977 ± 0,000	577,980 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
46	578,095 ± 0,000	578,095 ± 0,000	0,000 ± 0,001
47	578,105 ± 0,000	578,107 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
48	578,058 ± 0,000	578,060 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
49	578,138 ± 0,000	578,140 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
50	605,091 ± 0,000	605,090 ± 0,000	0,001 ± 0,001
51	605,078 ± 0,000	605,078 ± 0,000	0,000 ± 0,001
52	605,046 ± 0,000	605,046 ± 0,000	0,000 ± 0,001
53	605,205 ± 0,000	605,204 ± 0,000	0,001 ± 0,001
54	605,048 ± 0,000	605,050 ± 0,000	-0,002 ± 0,001
55	605,140 ± 0,000	605,140 ± 0,000	0,000 ± 0,001
56	605,218 ± 0,000	605,219 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
57	605,202 ± 0,000	605,201 ± 0,000	0,001 ± 0,001
58	605,059 ± 0,000	605,060 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
59	605,100 ± 0,000	605,101 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
60	605,129 ± 0,000	605,129 ± 0,000	0,000 ± 0,001
61	605,111 ± 0,000	605,109 ± 0,000	0,002 ± 0,001
62	605,020 ± 0,000	605,020 ± 0,000	0,000 ± 0,001

MÉDIA:	-0,001 ± 0,001
---------------	-----------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 15 apresenta as diferenças encontradas em Y_B com a Estação TS15 à jusante calculados com o GeoMos na terceira campanha de levantamento.

TABELA 15 – DIFERENÇA EM Y_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔY_B
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
CG01	207,427 ± 0,001	207,427 ± 0,001	0,000 ± 0,001
1	207,183 ± 0,001	207,188 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
2	207,294 ± 0,001	207,298 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
3	207,358 ± 0,001	207,362 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
4	209,095 ± 0,001	209,098 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
5	209,048 ± 0,001	209,052 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
6	215,598 ± 0,001	215,601 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
7	215,629 ± 0,001	215,631 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
8	207,408 ± 0,001	207,409 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
9	207,391 ± 0,001	207,393 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
10	207,432 ± 0,001	207,435 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
11	207,463 ± 0,001	207,465 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
12	207,554 ± 0,001	207,557 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
13	Não encontrado		
14	210,310 ± 0,001	210,312 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
15	214,036 ± 0,001	214,040 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
16	213,973 ± 0,001	213,977 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
17	213,918 ± 0,001	213,923 ± 0,001	-0,005 ± 0,001
18	207,352 ± 0,001	207,356 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
19	208,205 ± 0,001	208,208 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
20	210,085 ± 0,001	210,090 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
21	211,989 ± 0,001	211,991 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
22	213,796 ± 0,001	213,799 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
23	215,652 ± 0,001	215,654 ± 0,001	-0,002 ± 0,001
24	217,551 ± 0,001	217,554 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
25	219,389 ± 0,001	219,393 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
26	221,267 ± 0,001	221,270 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
27	223,108 ± 0,001	223,112 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
28	225,005 ± 0,001	225,009 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
29	226,842 ± 0,001	226,845 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
30	228,690 ± 0,001	228,693 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
31	230,586 ± 0,001	230,588 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
32	232,402 ± 0,001	232,406 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
33	234,268 ± 0,001	234,271 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
34	236,140 ± 0,001	236,143 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
35	238,016 ± 0,001	238,019 ± 0,001	-0,003 ± 0,001
36	208,297 ± 0,001	208,300 ± 0,001	-0,004 ± 0,001
37	210,177 ± 0,001	210,180 ± 0,001	-0,003 ± 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 15

ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔY_B (m)
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
38	212,054 \pm 0,001	212,057 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
39	213,894 \pm 0,001	213,897 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
40	215,768 \pm 0,001	215,771 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
41	217,645 \pm 0,001	217,648 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
42	219,487 \pm 0,001	219,491 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
43	221,335 \pm 0,001	221,339 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
44	223,200 \pm 0,001	223,202 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
45	225,075 \pm 0,001	225,077 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
46	226,922 \pm 0,001	226,924 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
47	228,768 \pm 0,001	228,771 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
48	230,661 \pm 0,001	230,664 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
49	232,508 \pm 0,001	232,509 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
50	208,357 \pm 0,001	208,359 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
51	210,210 \pm 0,001	210,213 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
52	212,092 \pm 0,001	212,095 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
53	215,799 \pm 0,001	215,801 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
54	217,658 \pm 0,001	217,660 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,001
55	219,484 \pm 0,001	219,488 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
56	221,381 \pm 0,001	221,385 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
57	223,216 \pm 0,001	223,220 \pm 0,001	-0,004 \pm 0,001
58	225,071 \pm 0,001	225,076 \pm 0,001	-0,005 \pm 0,001
59	226,955 \pm 0,001	226,958 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
60	228,783 \pm 0,001	228,786 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
61	230,655 \pm 0,001	230,658 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001
62	232,535 \pm 0,001	232,538 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,001

MÉDIA:	-0,003 \pm 0,001
---------------	--------------------------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 16 apresenta o resultado em Z_B do monitoramento da TS15 considerando a imprecisão do equipamento através da propagação da covariância.

TABELA 16 – DIFERENÇA EM Z_B DA 3ª CAMPANHA COM TS15.

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Geomos			
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
CG01	0,327 ± 0,000	0,326 ± 0,000	0,001 ± 0,001
1	-10,115 ± 0,001	-10,114 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
2	-10,077 ± 0,000	-10,077 ± 0,001	0,000 ± 0,001
3	-10,076 ± 0,000	-10,077 ± 0,001	0,001 ± 0,001
4	-12,833 ± 0,000	-12,832 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
5	-13,839 ± 0,000	-13,838 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
6	-22,086 ± 0,000	-22,087 ± 0,001	0,001 ± 0,001
7	-22,104 ± 0,000	-22,108 ± 0,001	0,005 ± 0,001
8	-10,191 ± 0,000	-10,192 ± 0,000	0,002 ± 0,001
9	-10,172 ± 0,000	-10,172 ± 0,000	0,000 ± 0,001
10	-10,151 ± 0,000	-10,152 ± 0,000	0,001 ± 0,001
11	-10,295 ± 0,000	-10,296 ± 0,000	0,001 ± 0,001
12	-10,116 ± 0,000	-10,116 ± 0,000	0,000 ± 0,001
13	Não encontrado		
14	-14,804 ± 0,000	-14,805 ± 0,000	0,001 ± 0,001
15	-19,972 ± 0,000	-19,972 ± 0,000	0,000 ± 0,001
16	-19,901 ± 0,000	-19,901 ± 0,000	0,000 ± 0,001
17	-19,850 ± 0,000	-19,849 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
18	-10,428 ± 0,000	-10,429 ± 0,001	0,001 ± 0,001
19	-12,822 ± 0,000	-12,821 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
20	-15,215 ± 0,000	-15,215 ± 0,001	0,000 ± 0,001
21	-17,639 ± 0,000	-17,640 ± 0,001	0,001 ± 0,001
22	-20,062 ± 0,000	-20,062 ± 0,001	0,000 ± 0,001
23	-22,334 ± 0,000	-22,335 ± 0,001	0,001 ± 0,001
24	-24,917 ± 0,000	-24,916 ± 0,001	-0,001 ± 0,001
25	-27,260 ± 0,000	-27,261 ± 0,001	0,001 ± 0,001
26	-29,663 ± 0,000	-29,665 ± 0,000	0,002 ± 0,001
27	-31,987 ± 0,000	-31,989 ± 0,000	0,002 ± 0,001
28	-34,376 ± 0,000	-34,377 ± 0,000	0,001 ± 0,001
29	-36,843 ± 0,000	-36,844 ± 0,000	0,002 ± 0,001
30	-39,183 ± 0,000	-39,184 ± 0,000	0,001 ± 0,001
31	-41,589 ± 0,000	-41,588 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
32	-43,963 ± 0,000	-43,964 ± 0,000	0,001 ± 0,001
33	-46,410 ± 0,000	-46,409 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
34	-48,732 ± 0,000	-48,731 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
35	-51,067 ± 0,000	-51,066 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
36	-12,739 ± 0,000	-12,739 ± 0,000	0,000 ± 0,001
37	-15,118 ± 0,000	-15,119 ± 0,000	0,001 ± 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 16

ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
38	-17,467 ± 0,000	-17,467 ± 0,000	0,000 ± 0,001
39	-19,943 ± 0,000	-19,942 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
40	-22,186 ± 0,000	-22,183 ± 0,000	-0,003 ± 0,001
41	-24,734 ± 0,000	-24,735 ± 0,000	0,001 ± 0,001
42	-26,956 ± 0,000	-26,955 ± 0,000	-0,001 ± 0,000
43	-29,524 ± 0,000	-29,521 ± 0,000	-0,003 ± 0,000
44	-31,877 ± 0,000	-31,874 ± 0,000	-0,003 ± 0,000
45	-34,305 ± 0,000	-34,303 ± 0,000	-0,002 ± 0,000
46	-36,798 ± 0,000	-36,798 ± 0,000	0,000 ± 0,000
47	-39,026 ± 0,000	-39,022 ± 0,000	-0,004 ± 0,000
48	-41,575 ± 0,000	-41,573 ± 0,000	-0,002 ± 0,000
49	-43,919 ± 0,000	-43,916 ± 0,000	-0,003 ± 0,000
50	-12,791 ± 0,000	-12,790 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
51	-15,132 ± 0,000	-15,134 ± 0,000	0,002 ± 0,001
52	-17,542 ± 0,000	-17,541 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
53	-22,206 ± 0,000	-22,205 ± 0,000	-0,001 ± 0,001
54	-24,766 ± 0,000	-24,764 ± 0,000	-0,002 ± 0,000
55	-27,036 ± 0,000	-27,036 ± 0,000	0,000 ± 0,000
56	-29,620 ± 0,000	-29,621 ± 0,000	0,001 ± 0,000
57	-31,999 ± 0,000	-31,999 ± 0,000	0,000 ± 0,000
58	-34,369 ± 0,000	-34,368 ± 0,000	-0,001 ± 0,000
59	-36,763 ± 0,000	-36,762 ± 0,000	-0,001 ± 0,000
60	-39,179 ± 0,000	-39,176 ± 0,000	-0,002 ± 0,000
61	-41,477 ± 0,000	-41,474 ± 0,000	-0,003 ± 0,000
62	-43,881 ± 0,000	-43,882 ± 0,000	0,001 ± 0,000

MÉDIA:	0,000 ± 0,001
---------------	----------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 17 apresenta as diferenças encontradas em X_B com a Estação TCRA1205 à jusante calculados com o GeoMos na terceira campanha de levantamento.

TABELA 17 – DIFERENÇA EM X_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos à jusante com TCRA1205 e Geomos			
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
CG01	668,646 \pm 0,001	668,646 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
1	328,389 \pm 0,001	328,385 \pm 0,002	0,004 \pm 0,002
2	401,555 \pm 0,001	401,557 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
3	450,492 \pm 0,001	450,498 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
4	346,741 \pm 0,001	346,738 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
5	346,747 \pm 0,001	346,745 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
6	382,253 \pm 0,001	382,252 \pm 0,002	0,001 \pm 0,002
7	423,112 \pm 0,001	423,114 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
8	542,420 \pm 0,001	542,425 \pm 0,002	-0,005 \pm 0,002
9	571,709 \pm 0,001	571,709 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
10	593,527 \pm 0,001	593,524 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
11	616,086 \pm 0,001	616,082 \pm 0,002	0,004 \pm 0,002
12	644,813 \pm 0,001	644,810 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002
13	Não encontrado		
14	658,677 \pm 0,001	658,680 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
15	668,165 \pm 0,001	668,168 \pm 0,001	-0,003 \pm 0,002
16	636,783 \pm 0,001	636,780 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002
17	604,584 \pm 0,001	604,579 \pm 0,001	0,005 \pm 0,002
18	429,654 \pm 0,001	429,658 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
19	429,614 \pm 0,001	429,619 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,002
20	429,493 \pm 0,001	429,498 \pm 0,002	-0,005 \pm 0,002
21	429,556 \pm 0,001	429,560 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
22	429,659 \pm 0,001	429,662 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
23	429,605 \pm 0,001	429,608 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
24	429,496 \pm 0,001	429,500 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,002
25	429,424 \pm 0,001	429,426 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
26	429,497 \pm 0,001	429,500 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
27	429,582 \pm 0,001	429,584 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
28	429,503 \pm 0,001	429,505 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,002
29	429,499 \pm 0,001	429,501 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
30	429,549 \pm 0,001	429,551 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
31	429,557 \pm 0,001	429,559 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
32	429,603 \pm 0,001	429,605 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
33	429,639 \pm 0,001	429,639 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
34	429,573 \pm 0,001	429,574 \pm 0,002	-0,002 \pm 0,002
35	429,519 \pm 0,001	429,519 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
36	578,214 \pm 0,001	578,213 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
37	578,226 \pm 0,001	578,226 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002

CONTINUAÇÃO DA TABELA 17

ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔX_B
	X_B	X_B	
	(m)	(m)	
38	578,126 \pm 0,001	578,127 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
39	578,035 \pm 0,001	578,035 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
40	578,116 \pm 0,001	578,117 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
41	578,026 \pm 0,001	578,025 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
42	578,108 \pm 0,001	578,107 \pm 0,001	0,001 \pm 0,002
43	578,163 \pm 0,001	578,164 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
44	578,135 \pm 0,001	578,135 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
45	577,976 \pm 0,001	577,976 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
46	578,094 \pm 0,001	578,095 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
47	578,102 \pm 0,001	578,104 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
48	578,057 \pm 0,001	578,057 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
49	578,136 \pm 0,001	578,137 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
50	605,094 \pm 0,001	605,089 \pm 0,002	0,005 \pm 0,002
51	605,080 \pm 0,001	605,076 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
52	605,049 \pm 0,001	605,045 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
53	605,208 \pm 0,001	605,202 \pm 0,001	0,005 \pm 0,002
54	605,051 \pm 0,001	605,046 \pm 0,001	0,005 \pm 0,002
55	605,143 \pm 0,001	605,138 \pm 0,001	0,005 \pm 0,002
56	605,221 \pm 0,001	605,216 \pm 0,001	0,005 \pm 0,002
57	605,204 \pm 0,001	605,199 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
58	605,061 \pm 0,001	605,058 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
59	605,103 \pm 0,001	605,099 \pm 0,001	0,004 \pm 0,002
60	605,131 \pm 0,001	605,128 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002
61	605,112 \pm 0,001	605,109 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002
62	605,020 \pm 0,001	605,017 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002

MÉDIA:	0,000 \pm 0,002
---------------	-------------------------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 18 apresenta as diferenças encontradas em Y_B com a Estação TCRA1205 à jusante calculados com o GeoMos na terceira campanha de levantamento.

TABELA 18 – DIFERENÇA EM Y_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos com TCRA1205 e Geomos			
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔY_B
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
CG01	207,433 \pm 0,001	207,432 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
1	207,188 \pm 0,002	207,194 \pm 0,002	-0,006 \pm 0,003
2	207,300 \pm 0,002	207,298 \pm 0,002	0,001 \pm 0,002
3	207,366 \pm 0,001	207,359 \pm 0,001	0,006 \pm 0,002
4	209,100 \pm 0,002	209,105 \pm 0,002	-0,004 \pm 0,003
5	209,053 \pm 0,002	209,056 \pm 0,002	-0,003 \pm 0,003
6	215,602 \pm 0,002	215,603 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
7	215,632 \pm 0,002	215,632 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
8	207,417 \pm 0,001	207,414 \pm 0,001	0,003 \pm 0,002
9	207,398 \pm 0,001	207,397 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
10	207,438 \pm 0,001	207,438 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
11	207,467 \pm 0,001	207,468 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
12	207,558 \pm 0,001	207,558 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
13	Não encontrado		
14	210,314 \pm 0,001	210,315 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
15	214,041 \pm 0,001	214,041 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
16	213,978 \pm 0,001	213,978 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
17	213,923 \pm 0,001	213,924 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
18	207,357 \pm 0,001	207,353 \pm 0,002	0,004 \pm 0,002
19	208,212 \pm 0,001	208,206 \pm 0,002	0,005 \pm 0,002
20	210,091 \pm 0,001	210,087 \pm 0,002	0,005 \pm 0,002
21	211,994 \pm 0,001	211,990 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
22	213,801 \pm 0,001	213,797 \pm 0,002	0,004 \pm 0,002
23	215,657 \pm 0,001	215,654 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
24	217,555 \pm 0,001	217,551 \pm 0,002	0,004 \pm 0,002
25	219,394 \pm 0,001	219,391 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
26	221,272 \pm 0,001	221,269 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
27	223,112 \pm 0,001	223,110 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
28	225,010 \pm 0,001	225,007 \pm 0,002	0,003 \pm 0,002
29	226,847 \pm 0,001	226,845 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
30	228,694 \pm 0,001	228,692 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
31	230,589 \pm 0,001	230,587 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
32	232,406 \pm 0,001	232,404 \pm 0,002	0,002 \pm 0,002
33	234,271 \pm 0,001	234,272 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
34	236,143 \pm 0,001	236,142 \pm 0,002	0,001 \pm 0,002
35	238,018 \pm 0,001	238,019 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
36	208,303 \pm 0,001	208,303 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
37	210,183 \pm 0,001	210,183 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 18

ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔY_B
	Y_B	Y_B	
	(m)	(m)	
38	212,060 \pm 0,001	212,060 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
39	213,900 \pm 0,001	213,900 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
40	215,774 \pm 0,001	215,774 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
41	217,651 \pm 0,001	217,651 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
42	219,493 \pm 0,001	219,493 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
43	221,341 \pm 0,001	221,341 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
44	223,205 \pm 0,001	223,205 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
45	225,080 \pm 0,001	225,081 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
46	226,926 \pm 0,001	226,927 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
47	228,774 \pm 0,001	228,773 \pm 0,001	0,001 \pm 0,001
48	230,665 \pm 0,001	230,665 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
49	232,513 \pm 0,001	232,513 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
50	208,361 \pm 0,001	208,362 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
51	210,215 \pm 0,001	210,216 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
52	212,097 \pm 0,001	212,098 \pm 0,001	0,000 \pm 0,001
53	215,803 \pm 0,001	215,804 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
54	217,662 \pm 0,001	217,663 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
55	219,488 \pm 0,001	219,489 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
56	221,385 \pm 0,001	221,386 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
57	223,221 \pm 0,001	223,222 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
58	225,076 \pm 0,001	225,077 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
59	226,958 \pm 0,001	226,959 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
60	228,787 \pm 0,001	228,788 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
61	230,659 \pm 0,001	230,660 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001
62	232,538 \pm 0,001	232,539 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,001

MÉDIA:	0,001 \pm 0,002
---------------	-------------------------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 19 apresenta as diferenças encontradas em Z_B com a Estação TCRA1205 à jusante calculados com o GeoMos na terceira campanha de levantamento.

TABELA 19 – DIFERENÇA EM Z_B DA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205.

Monitoramento dos pontos com TCRA1205 e Geomos					
ID	1ª Campanha		3ª Campanha		ΔZ_B
	Z_B		Z_B		
	(m)		(m)		(m)
CG01	0,327	± 0,002	0,327	± 0,002	0,000 ± 0,002
1	-10,115	± 0,002	-10,112	± 0,002	-0,003 ± 0,004
2	-10,076	± 0,002	-10,076	± 0,002	0,000 ± 0,003
3	-10,075	± 0,002	-10,075	± 0,002	0,000 ± 0,003
4	-12,833	± 0,002	-12,831	± 0,002	-0,002 ± 0,003
5	-13,839	± 0,002	-13,836	± 0,002	-0,002 ± 0,003
6	-22,087	± 0,002	-22,084	± 0,002	-0,003 ± 0,003
7	-22,100	± 0,002	-22,100	± 0,002	0,000 ± 0,003
8	-10,190	± 0,002	-10,189	± 0,002	0,000 ± 0,002
9	-10,172	± 0,002	-10,170	± 0,002	-0,002 ± 0,002
10	-10,151	± 0,002	-10,150	± 0,002	-0,001 ± 0,002
11	-10,294	± 0,002	-10,295	± 0,002	0,001 ± 0,002
12	-10,116	± 0,002	-10,117	± 0,002	0,001 ± 0,002
13	Não encontrado				
14	-14,804	± 0,001	-14,803	± 0,001	-0,001 ± 0,002
15	-19,971	± 0,001	-19,970	± 0,001	-0,001 ± 0,002
16	-19,900	± 0,001	-19,900	± 0,001	0,000 ± 0,002
17	-19,849	± 0,001	-19,848	± 0,001	-0,001 ± 0,002
18	-10,426	± 0,002	-10,424	± 0,002	-0,002 ± 0,003
19	-12,821	± 0,002	-12,821	± 0,002	0,000 ± 0,003
20	-15,213	± 0,002	-15,213	± 0,002	0,000 ± 0,003
21	-17,637	± 0,002	-17,636	± 0,002	-0,001 ± 0,003
22	-20,061	± 0,002	-20,059	± 0,002	-0,001 ± 0,003
23	-22,333	± 0,002	-22,333	± 0,002	0,000 ± 0,003
24	-24,916	± 0,002	-24,914	± 0,002	-0,002 ± 0,003
25	-27,258	± 0,002	-27,258	± 0,002	0,000 ± 0,003
26	-29,661	± 0,002	-29,659	± 0,002	-0,002 ± 0,003
27	-31,985	± 0,002	-31,984	± 0,002	-0,001 ± 0,003
28	-34,375	± 0,002	-34,373	± 0,002	-0,001 ± 0,003
29	-36,840	± 0,002	-36,840	± 0,002	0,000 ± 0,003
30	-39,182	± 0,002	-39,181	± 0,002	-0,001 ± 0,003
31	-41,587	± 0,002	-41,586	± 0,002	-0,001 ± 0,003
32	-43,962	± 0,002	-43,960	± 0,002	-0,002 ± 0,003
33	-46,407	± 0,002	-46,407	± 0,002	0,000 ± 0,003
34	-48,729	± 0,002	-48,729	± 0,002	-0,001 ± 0,003
35	-51,063	± 0,002	-51,062	± 0,002	-0,001 ± 0,003
36	-12,739	± 0,002	-12,738	± 0,002	-0,001 ± 0,002
37	-15,118	± 0,002	-15,118	± 0,002	0,000 ± 0,002

CONTINUAÇÃO DA TABELA 19

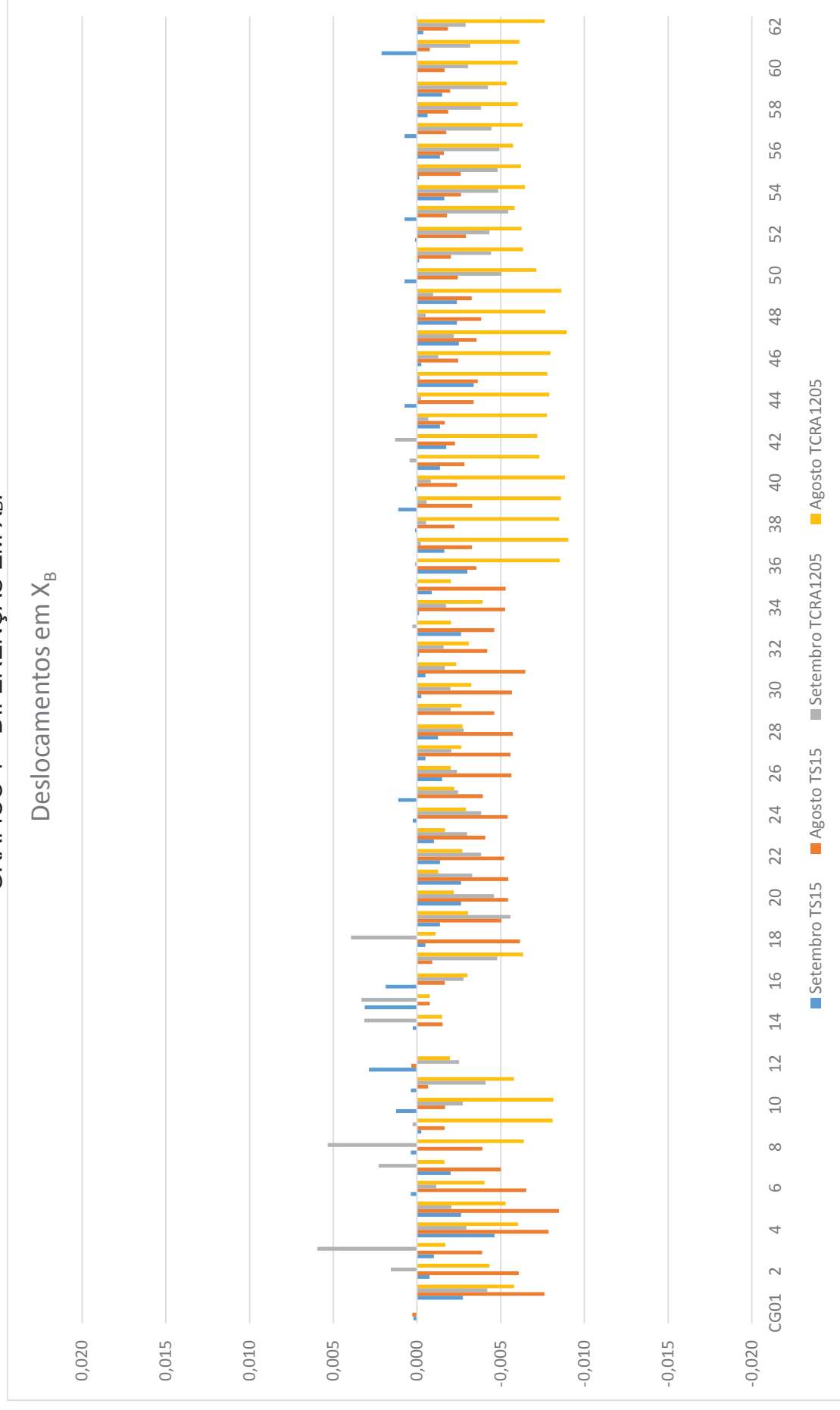
ID	1ª Campanha	3ª Campanha	ΔZ_B
	Z_B	Z_B	
	(m)	(m)	
38	-17,467 \pm 0,002	-17,466 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
39	-19,941 \pm 0,002	-19,941 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
40	-22,185 \pm 0,002	-22,184 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
41	-24,734 \pm 0,002	-24,733 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
42	-26,954 \pm 0,001	-26,954 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
43	-29,523 \pm 0,001	-29,522 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
44	-31,876 \pm 0,001	-31,875 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
45	-34,304 \pm 0,001	-34,302 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
46	-36,796 \pm 0,001	-36,795 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
47	-39,025 \pm 0,001	-39,023 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
48	-41,574 \pm 0,001	-41,573 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
49	-43,918 \pm 0,001	-43,916 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
50	-12,790 \pm 0,002	-12,791 \pm 0,002	0,000 \pm 0,002
51	-15,133 \pm 0,002	-15,132 \pm 0,002	-0,001 \pm 0,002
52	-17,540 \pm 0,001	-17,541 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
53	-22,205 \pm 0,001	-22,203 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
54	-24,765 \pm 0,001	-24,763 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
55	-27,036 \pm 0,001	-27,034 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
56	-29,620 \pm 0,001	-29,618 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
57	-31,998 \pm 0,001	-31,997 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002
58	-34,368 \pm 0,001	-34,367 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
59	-36,762 \pm 0,001	-36,761 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
60	-39,178 \pm 0,001	-39,177 \pm 0,001	-0,001 \pm 0,002
61	-41,474 \pm 0,001	-41,473 \pm 0,001	0,000 \pm 0,002
62	-43,880 \pm 0,001	-43,877 \pm 0,001	-0,002 \pm 0,002

MÉDIA:	-0,001 \pm 0,002
---------------	--------------------------------------

FONTE: O AUTOR, 2019.

Para melhor visualização do comportamento dos pontos de monitoramento com os diferentes equipamentos, foram montados gráficos de diferenças encontradas em X_B , Y_B e Z_B onde as coordenadas da primeira campanha são usadas como referência para as demais. O Gráfico 1 mostra as diferenças encontrados em X_B sendo que na abscissa está disposto os pontos de monitoramento e na ordenada está disposto os valores das diferenças de coordenadas encontradas em cada um dos pontos.

GRÁFICO 1 – DIFERENÇAS EM X_B .

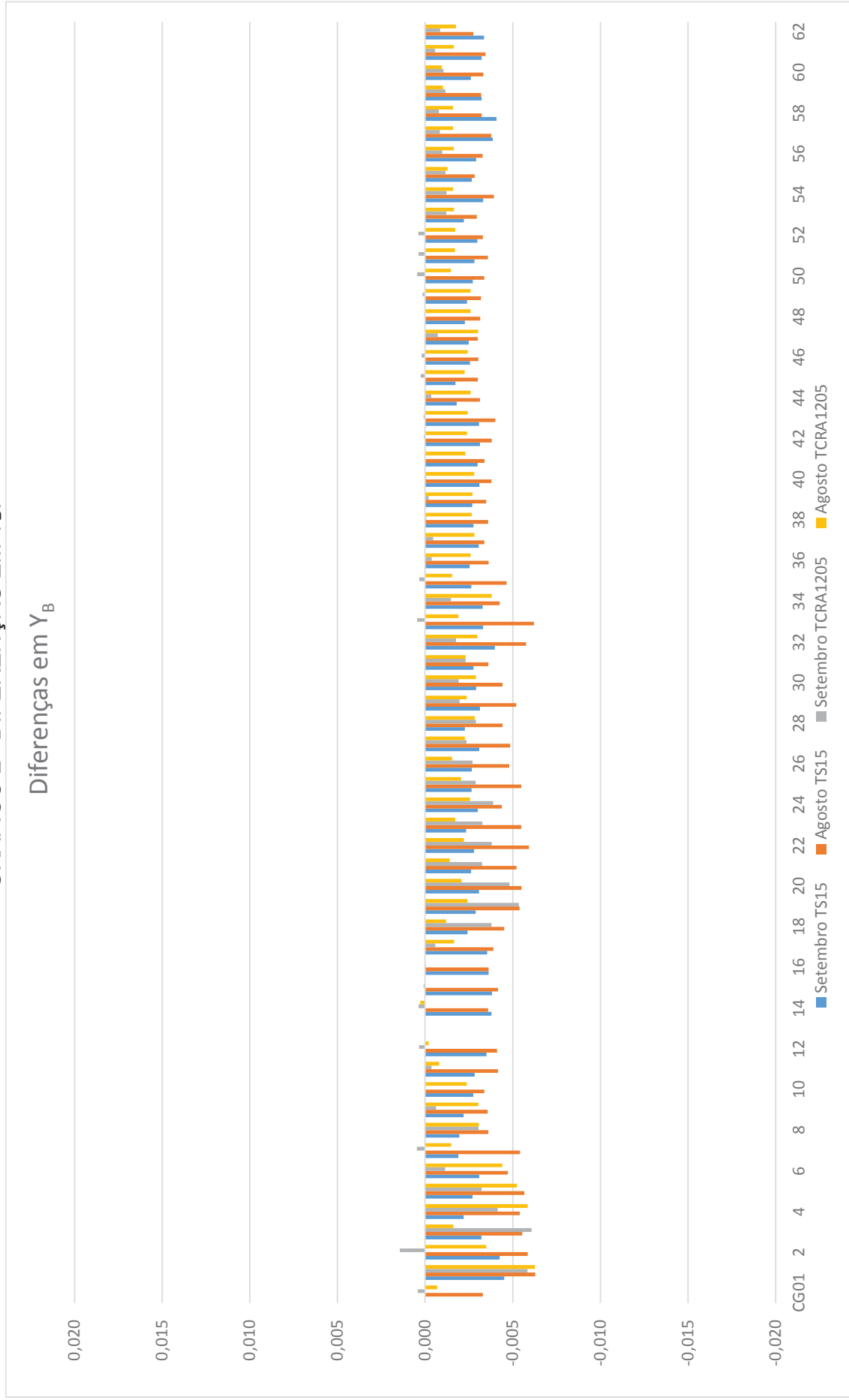


FONTE: O AUTOR, 2019.

Com este gráfico pode-se verificar que no mês de agosto (campanha com as comportas abertas) as maiores diferenças de coordenadas encontradas com a estação TCRA 1205 (utilizada no período da manhã) foram nos pontos localizados mais próximos à esquerda do vertedouro (do 8 ao 10 e do 36 ao 62), para quem de frente vê a jusante, sendo que estes pontos foram os mais afetados pela névoa de água devido ao fato de serem os mais próximos ao vertedouro. Os pontos mais afastados do vertedouro (do 1 ao 5) também apresentam grandes diferenças porém o resultado possui o mesmo comportamento para ambos equipamentos e ambas campanhas. Verifica-se também que as diferenças de coordenadas encontradas em setembro (campanhas com as comportas fechadas), com ambos equipamentos, os resultados estão mais próximos a 0,000m.

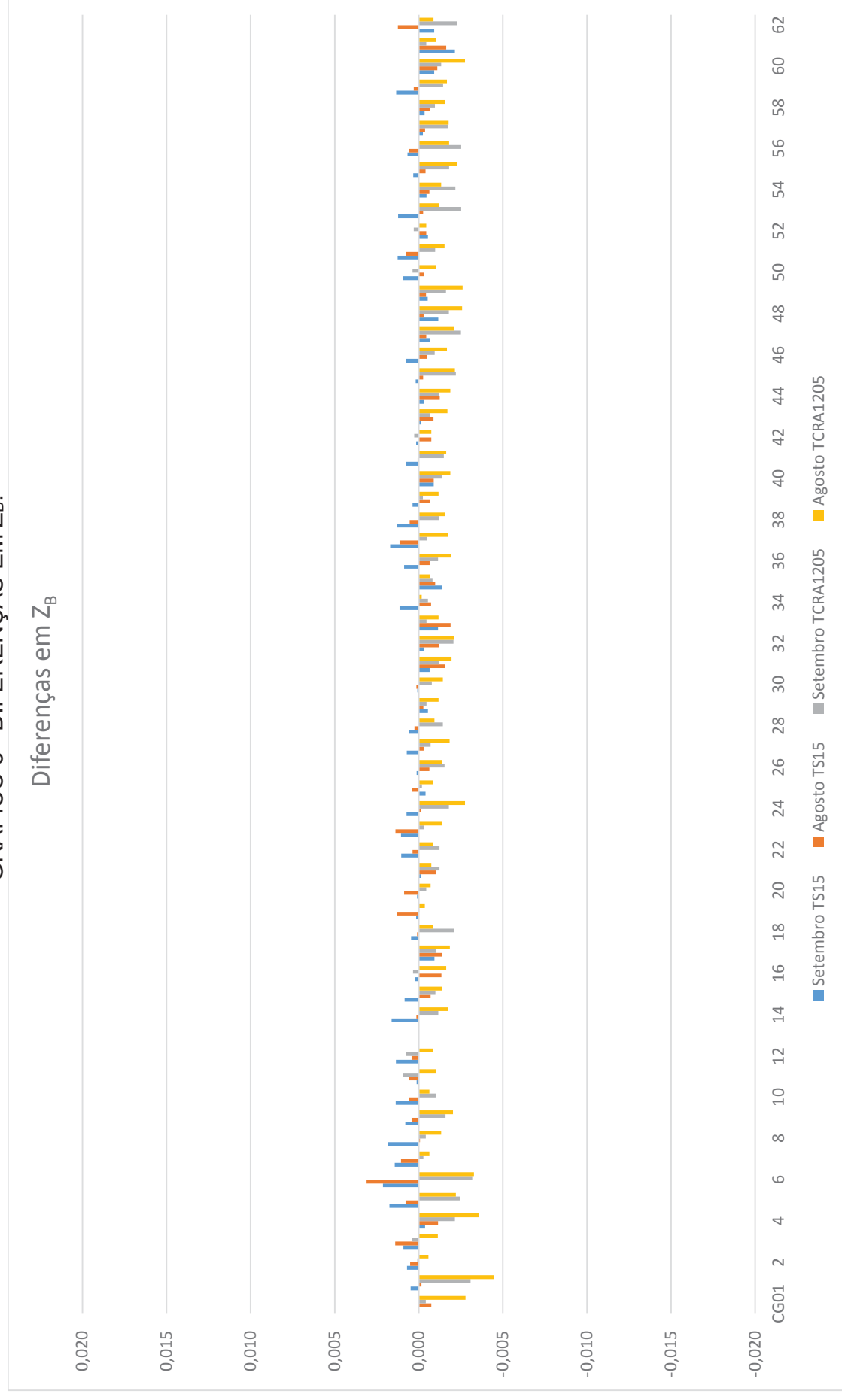
O Gráfico 2 e o Gráfico 3 mostram o gráfico das diferenças de coordenadas encontradas em Y_B e em Z_B respectivamente.

GRÁFICO 2 –DIFERENÇAS EM Y_B .



FONTE: O AUTOR, 2019.

GRÁFICO 3 –DIFERENÇAS EM Z_B .



FONTE: O AUTOR, 2019.

No gráfico 2 pode-se perceber que a diferença de coordenadas em Y_B , por mais que tenha valores diferentes, tem o mesmo comportamento em todas as campanhas, independente das comportas do vertedouro estarem fechadas ou não.

Já no gráfico 3 as diferenças encontradas em Z_B com os dois equipamentos possuem comportamentos semelhantes e valores muito próximos.

Pelo fato da segunda campanha de monitoramento apresentar valores inesperados que deve ser melhor investigado, optou-se por não utilizar estes dados. Sendo assim, foram utilizados somente os dados da primeira e terceira campanha de monitoramento para análise dos diferentes equipamentos e softwares.

4.2 RESULTADOS ENCONTRADOS COM OS DIFERENTES SOFTWARES

A Tabela 20 apresenta os resultados da terceira campanha de monitoramento realizada com o pós-processamento e estação TS15.

TABELA 20 – DIFERENÇA DA 3ª CAMPANHA COM TS15 E PÓS-PROCESSAMENTO

Monitoramento dos pontos à jusante com TS15 e Pós-processamento									
ID	1ª Campanha			3ª Campanha			Diferenças (Δ)		
	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
CG01	668,646	207,427	0,327	668,646	207,427	0,327	0,000	0,000	0,000
1	328,382	207,183	-10,116	328,385	207,188	-10,116	-0,003	-0,005	0,000
2	401,551	207,294	-10,078	401,551	207,298	-10,078	-0,001	-0,004	0,001
3	450,491	207,358	-10,076	450,493	207,362	-10,077	-0,002	-0,004	0,001
4	346,734	209,095	-12,833	346,739	209,098	-12,832	-0,005	-0,003	0,000
5	346,740	209,048	-13,839	346,744	209,052	-13,841	-0,004	-0,004	0,002
6	382,248	215,598	-22,086	382,248	215,601	-22,088	0,000	-0,003	0,002
7	423,107	215,629	-22,104	423,109	215,631	-22,105	-0,002	-0,002	0,001
8	542,425	207,408	-10,190	542,425	207,409	-10,192	0,000	-0,002	0,002
9	571,713	207,391	-10,172	571,713	207,393	-10,173	0,000	-0,002	0,001
10	593,528	207,432	-10,151	593,526	207,435	-10,152	0,001	-0,003	0,000
11	616,084	207,463	-10,296	616,084	207,465	-10,296	0,000	-0,002	0,000
12	644,810	207,554	-10,116	644,807	207,557	-10,118	0,003	-0,003	0,001
13	Não encontrado								
14	658,677	210,310	-14,804	658,676	210,312	-14,806	0,000	-0,003	0,002
15	668,165	214,036	-19,972	668,162	214,040	-19,973	0,003	-0,004	0,001
16	636,780	213,973	-19,901	636,778	213,977	-19,901	0,002	-0,004	0,000
17	604,584	213,918	-19,850	604,584	213,923	-19,849	0,000	-0,005	-0,001
18	429,649	207,352	-10,428	429,649	207,356	-10,428	0,000	-0,003	0,000
19	429,611	208,205	-12,822	429,612	208,208	-12,822	-0,001	-0,003	0,000
20	429,490	210,085	-15,215	429,493	210,090	-15,215	-0,003	-0,004	0,000

CONTINUAÇÃO DA TABELA 20

ID	1ª Campanha			3ª Campanha			Diferenças (Δ)		
	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
21	429,552	211,989	-17,639	429,555	211,991	-17,639	-0,003	-0,003	0,000
22	429,656	213,796	-20,062	429,657	213,799	-20,063	-0,001	-0,003	0,001
23	429,602	215,652	-22,334	429,603	215,654	-22,335	-0,001	-0,002	0,001
24	429,493	217,551	-24,917	429,493	217,554	-24,918	-0,001	-0,003	0,002
25	429,420	219,389	-27,260	429,420	219,393	-27,260	0,000	-0,004	0,000
26	429,493	221,267	-29,663	429,494	221,270	-29,663	-0,001	-0,003	0,000
27	429,578	223,108	-31,987	429,579	223,112	-31,987	-0,001	-0,004	0,001
28	429,499	225,005	-34,376	429,501	225,009	-34,376	-0,001	-0,003	0,001
29	429,495	226,842	-36,842	429,496	226,845	-36,842	-0,001	-0,003	-0,001
30	429,546	228,690	-39,183	429,546	228,693	-39,183	0,000	-0,003	0,000
31	429,553	230,586	-41,589	429,554	230,588	-41,589	0,000	-0,003	-0,001
32	429,600	232,402	-43,962	429,601	232,406	-43,962	-0,001	-0,004	0,000
33	429,636	234,268	-46,410	429,637	234,271	-46,409	-0,002	-0,003	-0,001
34	429,571	236,140	-48,732	429,571	236,143	-48,733	0,000	-0,003	0,001
35	429,515	238,016	-51,067	429,517	238,019	-51,065	-0,002	-0,003	-0,002
36	578,216	208,297	-12,739	578,219	208,300	-12,740	-0,003	-0,004	0,001
37	578,230	210,177	-15,118	578,231	210,180	-15,120	-0,002	-0,003	0,002
38	578,129	212,054	-17,467	578,129	212,057	-17,468	0,000	-0,003	0,001
39	578,038	213,894	-19,943	578,037	213,897	-19,943	0,001	-0,003	0,000
40	578,120	215,768	-22,186	578,119	215,771	-22,185	0,000	-0,003	-0,001
41	578,029	217,645	-24,734	578,030	217,648	-24,735	-0,001	-0,003	0,001
42	578,110	219,487	-26,956	578,112	219,491	-26,956	-0,002	-0,004	0,000
43	578,167	221,335	-29,524	578,168	221,339	-29,523	-0,001	-0,004	0,000
44	578,137	223,200	-31,877	578,138	223,202	-31,876	0,000	-0,002	0,000
45	577,979	225,075	-34,305	577,981	225,077	-34,305	-0,002	-0,002	0,000
46	578,097	226,922	-36,798	578,097	226,924	-36,799	0,000	-0,003	0,001
47	578,106	228,768	-39,026	578,110	228,771	-39,024	-0,003	-0,002	-0,002
48	578,060	230,661	-41,575	578,062	230,664	-41,573	-0,002	-0,003	-0,002
49	578,140	232,508	-43,919	578,142	232,509	-43,918	-0,002	-0,001	-0,001
50	605,093	208,357	-12,791	605,092	208,359	-12,792	0,001	-0,003	0,001
51	605,079	210,210	-15,132	605,079	210,213	-15,134	0,000	-0,003	0,001
52	605,048	212,092	-17,542	605,048	212,095	-17,542	0,000	-0,003	-0,001
53	605,207	215,799	-22,206	605,206	215,801	-22,207	0,001	-0,002	0,001
54	605,051	217,658	-24,766	605,052	217,660	-24,765	-0,002	-0,002	0,000
55	605,142	219,484	-27,036	605,142	219,488	-27,036	0,000	-0,004	0,000
56	605,220	221,381	-29,620	605,220	221,385	-29,621	0,000	-0,004	0,001
57	605,203	223,216	-31,999	605,203	223,220	-31,999	0,001	-0,004	0,000
58	605,061	225,071	-34,370	605,062	225,076	-34,369	-0,001	-0,005	0,000
59	605,101	226,955	-36,762	605,103	226,958	-36,765	-0,001	-0,003	0,002
60	605,131	228,783	-39,178	605,131	228,786	-39,178	0,000	-0,003	0,000
61	605,113	230,655	-41,477	605,111	230,658	-41,475	0,002	-0,003	-0,002
62	605,021	232,535	-43,881	605,022	232,538	-43,880	0,000	-0,003	-0,001

Média	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
	-0,001	-0,003	0,000

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 21 apresenta os resultados da terceira campanha de monitoramento realizada com o pós-processamento e estação TCRA1205.

TABELA 21 – DIFERENÇA 3ª CAMPANHA COM TCRA1205 E PÓS-PROCESSAMENTO

Monitoramento dos pontos à jusante com TCRA1205 e Pós-processamento									
ID	1ª Campanha			3ª Campanha			Diferenças (Δ)		
	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
CG01	668,646	207,433	0,327	668,646	207,433	0,327	0,000	0,000	0,000
1	328,390	207,189	-10,115	328,386	207,197	-10,110	-0,004	-0,008	-0,005
2	401,556	207,300	-10,076	401,557	207,300	-10,075	0,002	0,000	-0,001
3	450,493	207,366	-10,075	450,499	207,361	-10,073	0,006	0,005	-0,002
4	346,741	209,101	-12,833	346,738	209,106	-12,829	-0,003	-0,005	-0,004
5	346,748	209,053	-13,839	346,748	209,060	-13,836	0,000	-0,007	-0,002
6	382,254	215,603	-22,087	382,254	215,606	-22,082	0,000	-0,003	-0,005
7	423,113	215,633	-22,100	423,117	215,634	-22,099	0,004	-0,001	-0,001
8	542,420	207,417	-10,190	542,426	207,415	-10,188	0,006	0,002	-0,001
9	571,709	207,398	-10,172	571,712	207,400	-10,167	0,002	-0,001	-0,005
10	593,527	207,438	-10,151	593,526	207,439	-10,148	-0,001	-0,001	-0,003
11	616,086	207,468	-10,294	616,080	207,469	-10,293	-0,006	-0,001	-0,001
12	644,813	207,559	-10,116	644,809	207,559	-10,114	-0,004	0,000	-0,002
13	Não encontrado								
14	658,677	210,315	-14,804	658,678	210,317	-14,802	0,001	-0,002	-0,002
15	668,165	214,042	-19,971	668,165	214,042	-19,968	0,000	0,000	-0,003
16	636,783	213,978	-19,900	636,779	213,979	-19,897	-0,004	-0,001	-0,003
17	604,584	213,924	-19,849	604,578	213,926	-19,845	-0,006	-0,002	-0,004
18	429,654	207,358	-10,426	429,659	207,360	-10,424	0,005	0,003	-0,002
19	429,614	208,212	-12,821	429,619	208,214	-12,819	-0,005	0,002	-0,002
20	429,494	210,092	-15,213	429,498	210,095	-15,211	-0,005	0,003	-0,002
21	429,557	211,994	-17,637	429,559	211,996	-17,634	-0,002	0,002	-0,003
22	429,659	213,802	-20,061	429,662	213,804	-20,056	-0,003	0,002	-0,004
23	429,605	215,658	-22,333	429,607	215,659	-22,331	-0,002	0,001	-0,002
24	429,497	217,556	-24,916	429,500	217,558	-24,913	-0,003	0,002	-0,003
25	429,425	219,395	-27,258	429,426	219,397	-27,258	-0,001	0,002	0,000
26	429,498	221,273	-29,661	429,501	221,275	-29,657	-0,002	0,003	-0,004
27	429,583	223,113	-31,985	429,583	223,114	-31,987	0,000	0,000	0,002
28	429,504	225,011	-34,375	429,506	225,013	-34,371	-0,002	0,002	-0,003
29	429,500	226,848	-36,840	429,502	226,850	-36,838	-0,002	0,002	-0,002
30	429,550	228,695	-39,182	429,551	228,695	-39,183	-0,001	0,000	0,001
31	429,559	230,591	-41,587	429,560	230,593	-41,586	-0,002	0,002	-0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 21

ID	1ª Campanha			3ª Campanha			Diferenças (Δ)		
	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	X_B (m)	Y_B (m)	Z_B (m)	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
32	429,605	232,408	-43,962	429,607	232,409	-43,957	-0,003	0,002	-0,005
33	429,641	234,273	-46,407	429,641	234,273	-46,405	0,000	0,000	-0,002
34	429,575	236,145	-48,729	429,574	236,144	-48,727	0,000	-0,001	-0,002
35	429,521	238,020	-51,063	429,520	238,021	-51,061	0,000	0,001	-0,002
36	578,214	208,304	-12,739	578,213	208,305	-12,735	0,001	0,000	-0,004
37	578,226	210,184	-15,119	578,225	210,184	-15,115	0,002	-0,001	-0,003
38	578,126	212,061	-17,467	578,126	212,060	-17,465	0,000	-0,001	-0,002
39	578,035	213,900	-19,941	578,033	213,899	-19,940	0,001	-0,001	-0,001
40	578,117	215,775	-22,185	578,116	215,773	-22,183	0,000	-0,002	-0,002
41	578,026	217,652	-24,734	578,024	217,651	-24,732	0,002	-0,001	-0,002
42	578,109	219,494	-26,954	578,107	219,494	-26,952	0,001	0,000	-0,002
43	578,164	221,342	-29,523	578,164	221,341	-29,520	0,000	-0,001	-0,003
44	578,135	223,207	-31,876	578,131	223,205	-31,870	0,005	-0,002	-0,005
45	577,976	225,082	-34,304	577,974	225,080	-34,301	0,002	-0,001	-0,003
46	578,094	226,928	-36,796	578,092	226,925	-36,791	0,002	-0,002	-0,005
47	578,102	228,775	-39,025	578,102	228,775	-39,021	0,001	0,000	-0,004
48	578,057	230,667	-41,574	578,057	230,666	-41,571	0,000	-0,001	-0,004
49	578,136	232,514	-43,918	578,137	232,515	-43,914	-0,001	0,000	-0,004
50	605,094	208,362	-12,791	605,086	208,362	-12,789	-0,008	0,000	-0,002
51	605,080	210,216	-15,133	605,075	210,216	-15,130	-0,005	0,000	-0,003
52	605,049	212,098	-17,540	605,043	212,098	-17,540	-0,006	0,000	0,000
53	605,208	215,804	-22,205	605,202	215,805	-22,203	-0,006	-0,001	-0,002
54	605,051	217,663	-24,765	605,043	217,664	-24,763	-0,008	-0,001	-0,002
55	605,143	219,489	-27,036	605,137	219,489	-27,033	-0,006	0,000	-0,003
56	605,221	221,387	-29,620	605,215	221,387	-29,618	-0,006	-0,001	-0,002
57	605,204	223,222	-31,999	605,198	223,223	-31,996	-0,006	-0,001	-0,003
58	605,062	225,078	-34,367	605,059	225,078	-34,366	-0,003	-0,001	-0,002
59	605,104	226,959	-36,762	605,102	226,961	-36,760	-0,001	-0,002	-0,002
60	605,131	228,788	-39,178	605,130	228,790	-39,176	-0,001	-0,002	-0,002
61	605,113	230,661	-41,474	605,111	230,661	-41,471	-0,001	-0,001	-0,002
62	605,020	232,540	-43,880	605,019	232,541	-43,875	-0,002	-0,001	-0,004

Média	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
	-0,001	0,000	-0,003

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 22 mostra a diferença de coordenadas encontradas com cada software na terceira campanha de levantamento e a diferença entre os softwares de processamento na estação TS15.

TABELA 22 – DIFERENÇA ENTRE GEOMOS E PÓS-PROCESSAMENTO TS15

Diferença entre os softwares GeoMos e Pós-processamento na TS15									
ID	GeoMos			Pós-processamento			Diferenças (Δ)		
	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	$\Delta_A X_B$	$\Delta_A Y_B$	$\Delta_A Z_B$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
CG01	0,003	-0,003	0,000	0,002	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
1	-0,003	-0,009	-0,001	-0,003	-0,009	-0,001	0,000	0,000	0,000
2	-0,001	-0,008	0,000	-0,001	-0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-0,001	-0,004	0,001	-0,002	-0,005	0,002	0,001	0,001	0,000
4	-0,005	-0,005	-0,001	-0,005	-0,006	0,000	0,000	0,001	0,000
5	-0,003	-0,007	-0,001	-0,003	-0,008	-0,001	0,001	0,001	0,000
6	0,000	-0,008	0,001	0,000	-0,008	0,001	0,000	0,000	0,000
7	-0,002	-0,004	0,005	-0,002	-0,004	0,005	0,000	0,000	0,000
8	0,000	-0,004	0,002	0,000	-0,003	0,002	0,000	0,000	0,000
9	0,000	-0,005	0,000	0,000	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,001	-0,003	0,001	0,001	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,001
11	0,000	-0,004	0,001	0,000	-0,004	0,001	0,000	-0,001	0,000
12	0,003	-0,004	0,000	0,002	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
13	Não encontrado								
14	0,000	-0,004	0,001	0,000	-0,003	0,001	0,000	-0,001	0,000
15	0,003	-0,004	0,000	0,003	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,002	-0,004	0,000	0,002	-0,004	-0,001	0,000	0,000	0,000
17	0,000	-0,003	-0,001	0,000	-0,004	-0,001	0,000	0,001	0,000
18	0,000	-0,005	0,001	-0,001	-0,006	0,001	0,000	0,001	0,000
19	-0,001	-0,005	-0,001	-0,002	-0,006	-0,001	0,000	0,000	0,000
20	-0,003	-0,005	0,000	-0,003	-0,005	0,000	0,000	0,001	0,000
21	-0,003	-0,005	0,001	-0,003	-0,004	0,001	0,000	0,000	0,000
22	-0,001	-0,005	0,000	-0,002	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
23	-0,001	-0,006	0,001	-0,001	-0,006	0,001	0,000	0,000	0,000
24	0,000	-0,007	-0,001	0,000	-0,007	0,000	0,001	0,000	-0,001
25	0,001	-0,006	0,001	0,000	-0,007	0,001	0,001	0,001	0,000
26	-0,001	-0,005	0,002	-0,001	-0,005	0,002	0,000	0,000	0,000
27	0,000	-0,006	0,002	-0,002	-0,007	0,002	0,001	0,001	0,000
28	-0,001	-0,005	0,001	-0,002	-0,005	0,002	0,000	0,001	0,000
29	0,000	-0,007	0,002	-0,001	-0,007	0,001	0,001	0,000	0,000
30	0,000	-0,007	0,001	-0,001	-0,007	0,001	0,000	0,000	0,000
31	0,000	-0,008	-0,001	-0,001	-0,008	-0,002	0,000	0,000	0,000
32	0,000	-0,008	0,001	-0,001	-0,008	0,001	0,001	0,000	0,000
33	-0,003	-0,004	-0,001	-0,002	-0,004	-0,001	-0,001	0,000	0,000
34	0,000	-0,006	-0,001	0,000	-0,006	-0,001	0,000	0,000	0,000
35	-0,001	-0,005	-0,001	-0,002	-0,005	-0,001	0,001	0,000	0,001
36	-0,003	-0,003	0,000	-0,003	-0,004	0,000	0,000	0,001	0,000
37	-0,002	-0,005	0,001	-0,002	-0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
38	0,000	-0,004	0,000	0,000	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,000

CONTINUAÇÃO DA TABELA 22

ID	GeoMos			Pós-processamento			Diferenças (Δ)		
	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	$\Delta_A X_B$	$\Delta_A Y_B$	$\Delta_A Z_B$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
39	0,001	-0,004	-0,001	0,001	-0,004	-0,001	0,000	0,000	0,000
40	0,000	-0,005	-0,003	0,000	-0,005	-0,003	0,000	0,000	0,000
41	-0,001	-0,004	0,001	-0,001	-0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
42	-0,002	-0,004	-0,001	-0,002	-0,005	0,000	0,000	0,001	0,000
43	-0,001	-0,003	-0,003	-0,001	-0,004	-0,002	0,000	0,001	0,000
44	0,001	-0,002	-0,003	0,000	-0,002	-0,003	0,001	0,000	0,000
45	-0,003	-0,004	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	0,000	0,000
46	0,000	-0,002	0,000	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
47	-0,002	-0,002	-0,004	-0,003	-0,002	-0,004	0,001	0,000	0,001
48	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	0,000	0,001	0,001
49	-0,002	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	0,000	-0,001	0,000
50	0,001	-0,005	-0,001	0,001	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
51	0,000	-0,003	0,002	0,000	-0,003	0,002	0,000	0,000	0,000
52	0,000	-0,002	-0,001	0,000	-0,002	-0,002	0,000	0,000	0,000
53	0,001	-0,003	-0,001	0,001	-0,003	-0,001	0,000	0,000	0,000
54	-0,002	-0,004	-0,002	-0,001	-0,004	-0,001	0,000	-0,001	0,000
55	0,000	-0,004	0,000	0,000	-0,005	0,000	0,000	0,001	0,000
56	-0,001	-0,004	0,001	-0,001	-0,005	0,001	-0,001	0,001	0,000
57	0,001	-0,004	0,000	0,001	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
58	-0,001	-0,004	-0,001	0,000	-0,005	-0,001	0,000	0,001	0,000
59	-0,001	-0,004	-0,001	-0,002	-0,003	0,000	0,000	0,000	-0,001
60	0,000	-0,003	-0,002	0,000	-0,003	-0,002	0,000	0,000	-0,001
61	0,002	-0,004	-0,003	0,002	-0,004	-0,003	0,000	0,000	0,000
62	0,000	-0,004	0,001	0,000	-0,004	0,001	0,000	0,000	0,000

Média	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
	0,000	0,000	0,000

FONTE: O AUTOR, 2019.

Nota-se que as diferenças de coordenadas encontradas com o software de pós-processamento desenvolvido por Da Cruz (2015) são praticamente iguais com as diferenças de coordenadas encontradas com o GeoMos utilizando os dados coletados com a estação TS15.

Já a Tabela 23 apresenta a diferença de coordenadas encontradas com cada software na terceira campanha de levantamento e a diferença entre os softwares de processamento na estação TCRA1205.

TABELA 23 – DIFERENÇA GEOMOS E PÓS-PROCESSAMENTO TCRA1205

Diferença entre os softwares GeoMos e Pós-processamento na TCRA1205									
ID	GeoMos			Pós-processamento			Diferenças (Δ)		
	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	$\Delta_{\Delta} X_B$	$\Delta_{\Delta} Y_B$	$\Delta_{\Delta} Z_B$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
CG01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	-0,004	-0,006	-0,003	-0,004	-0,008	-0,005	0,000	0,002	0,002
2	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,001
3	0,006	0,006	0,000	0,006	0,005	-0,002	0,000	0,001	0,002
4	-0,003	-0,004	-0,002	-0,003	-0,005	-0,004	0,000	0,001	0,002
5	-0,002	-0,003	-0,002	0,000	-0,007	-0,002	-0,002	0,004	0,000
6	-0,001	-0,001	-0,003	0,000	-0,003	-0,005	-0,001	0,002	0,002
7	0,002	0,000	0,000	0,004	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,001
8	0,005	0,003	0,000	0,006	0,002	-0,001	-0,001	0,001	0,001
9	0,000	0,001	-0,002	0,002	-0,001	-0,005	-0,002	0,002	0,003
10	-0,003	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,003	-0,002	0,001	0,002
11	-0,004	0,000	0,001	-0,006	-0,001	-0,001	0,002	0,001	0,002
12	-0,003	0,000	0,001	-0,004	0,000	-0,002	0,001	0,000	0,003
13	Não encontrado								
14	0,003	0,000	-0,001	0,001	-0,002	-0,002	0,002	0,002	0,001
15	0,003	0,000	-0,001	0,000	0,000	-0,003	0,003	0,000	0,002
16	-0,003	0,000	0,000	-0,004	-0,001	-0,003	0,001	0,001	0,003
17	-0,005	-0,001	-0,001	-0,006	-0,002	-0,004	0,001	0,001	0,003
18	0,004	0,004	-0,002	0,005	0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,000
19	-0,006	0,005	0,000	-0,005	0,002	-0,002	-0,001	0,003	0,002
20	-0,005	0,005	0,000	-0,005	0,003	-0,002	0,000	0,002	0,002
21	-0,003	0,003	-0,001	-0,002	0,002	-0,003	-0,001	0,001	0,002
22	-0,004	0,004	-0,001	-0,003	0,002	-0,004	-0,001	0,002	0,003
23	-0,003	0,003	0,000	-0,002	0,001	-0,002	-0,001	0,002	0,002
24	-0,004	0,004	-0,002	-0,003	0,002	-0,003	-0,001	0,002	0,001
25	-0,002	0,003	0,000	-0,001	0,002	0,000	-0,001	0,001	0,000
26	-0,002	0,003	-0,002	-0,002	0,003	-0,004	0,000	0,000	0,002
27	-0,002	0,002	-0,001	0,000	0,000	0,002	-0,002	0,002	-0,003
28	-0,003	0,003	-0,001	-0,002	0,002	-0,003	-0,001	0,001	0,002
29	-0,002	0,002	0,000	-0,002	0,002	-0,002	0,000	0,000	0,002
30	-0,002	0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,001	-0,001	0,002	-0,002
31	-0,002	0,002	-0,001	-0,002	0,002	-0,001	0,000	0,000	0,000
32	-0,002	0,002	-0,002	-0,003	0,002	-0,005	0,001	0,000	0,003
33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,002
34	-0,002	0,001	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	0,002	0,001
35	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,001	-0,002	0,000	-0,001	0,001
36	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,000	-0,004	-0,001	0,000	0,003
37	0,000	0,000	0,000	0,002	-0,001	-0,003	-0,002	0,001	0,003
38	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	0,001	0,001

CONTINUAÇÃO DA TABELA 23

ID	GeoMos			Pós-processamento			Diferenças (Δ)		
	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	ΔX_B	ΔY_B	ΔZ_B	$\Delta_A X_B$	$\Delta_A Y_B$	$\Delta_A Z_B$
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
39	-0,001	0,000	0,000	0,001	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,001
40	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,002	-0,002	-0,001	0,002	0,001
41	0,000	0,000	-0,001	0,002	-0,001	-0,002	-0,002	0,001	0,001
42	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	-0,002	0,000	0,000	0,002
43	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	-0,003	-0,001	0,001	0,002
44	0,000	0,000	-0,001	0,005	-0,002	-0,005	-0,005	0,002	0,004
45	0,000	0,000	-0,002	0,002	-0,001	-0,003	-0,002	0,001	0,001
46	-0,001	0,000	-0,001	0,002	-0,002	-0,005	-0,003	0,002	0,004
47	-0,002	0,001	-0,002	0,001	0,000	-0,004	-0,003	0,001	0,002
48	-0,001	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,004	-0,001	0,001	0,002
49	-0,001	0,000	-0,002	-0,001	0,000	-0,004	0,000	0,000	0,002
50	-0,005	0,000	0,000	-0,008	0,000	-0,002	0,003	0,000	0,002
51	-0,004	0,000	-0,001	-0,005	0,000	-0,003	0,001	0,000	0,002
52	-0,004	0,000	0,000	-0,006	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
53	-0,005	-0,001	-0,002	-0,006	-0,001	-0,002	0,001	0,000	0,000
54	-0,005	-0,001	-0,002	-0,008	-0,001	-0,002	0,003	0,000	0,000
55	-0,005	-0,001	-0,002	-0,006	0,000	-0,003	0,001	-0,001	0,001
56	-0,005	-0,001	-0,002	-0,006	-0,001	-0,002	0,001	0,000	0,000
57	-0,004	-0,001	-0,002	-0,006	-0,001	-0,003	0,002	0,000	0,001
58	-0,004	-0,001	-0,001	-0,003	-0,001	-0,002	-0,001	0,000	0,001
59	-0,004	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,003	0,001	0,001
60	-0,003	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	0,001
61	-0,003	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	0,000	0,002
62	-0,003	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,004	-0,001	0,000	0,002

Média	ΔX_B (m)	ΔY_B (m)	ΔZ_B (m)
	-0,001	0,001	0,001

FONTE: O AUTOR, 2019.

Nota-se que os diferenças de coordenadas encontradas com o software de pós-processamento desenvolvido por Da Cruz (2015) apresentam diferenças milimétricas quando comparado com as diferenças de coordenadas encontradas com o GeoMos utilizando os dados coletados com a estação TCRA1205.

Sabe-se que o método pós-processado utilizado consiste em calcular a média das coordenadas de todas as séries da campanha, já o método de processamento do GeoMos é um código fechado a terceiros para garantir a exclusividade do fornecedor.

A Tabela 24 apresenta o resumo dos resultados de monitoramento da terceira campanha obtidos com os diferentes equipamentos e softwares.

TABELA 24 – DIFERENÇAS MÉDIAS OBTIDAS

Estação	GeoMos			Pós-processamento		
	X_B	Y_B	Z_B	X_B	Y_B	Z_B
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
TS15	-0,001	-0,003	0,000	-0,001	-0,003	0,000
TCRA1205	0,000	0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,003

FONTE: O AUTOR, 2019.

A Tabela 25 apresenta o resumo dos resultados de monitoramento da terceira campanha obtidos com os diferentes equipamentos e softwares considerando a propagação de covariância.

TABELA 25 – DIFERENÇAS MÉDIAS OBTIDAS COM PROPAGAÇÃO

Estação	X_B	Y_B	Z_B
	(m)	(m)	(m)
TS15	$-0,001 \pm 0,001$	$-0,003 \pm 0,001$	$0,000 \pm 0,001$
TCRA1205	$0,000 \pm 0,002$	$0,001 \pm 0,002$	$-0,001 \pm 0,002$

FONTE: O AUTOR, 2019.

Tendo em vista que a análise do monitoramento geodésico é pontual, a apresentação da média das coordenadas para os dois modelos de equipamentos e softwares busca trazer somente um elemento para a avaliação das diferenças encontradas.

5 CONCLUSÃO

A proposta apresentada por esta pesquisa visou realizar o monitoramento da UHE Mauá, integrando técnicas espaciais GNSS e de levantamentos terrestres tridimensionais para determinação de coordenadas e comparar o resultado do monitoramento feito com equipamentos de diferentes precisões e diferentes softwares de processamento a partir de observações realizadas em campanhas distintas. Estas informações, quando devidamente analisadas por profissionais habilitados, servem para a melhoria do gerenciamento e controle de segurança da barragem.

A primeira campanha de levantamento dos pontos do corpo da barragem foi utilizada como referência para as demais campanhas. Já nesta campanha foi possível verificar que os métodos de processamento, tanto o GeoMos para monitoramento em tempo real quanto o desenvolvido para o pós-processamento, apresentam resultados semelhantes, valendo destacar que os métodos do GeoMos são um código fechado a terceiros para garantir o bloqueio do fornecedor e o do pós-processamento é o método da irradiação para obtenção das coordenadas e a média das coordenadas das séries.

Na segunda campanha de levantamento as diferenças de coordenadas encontradas apresentaram valores inesperados. Os resultados com os dois equipamentos obtiveram diferenças em X_B muitas vezes até maiores que em Y_B e Z_B , isso significaria que a barragem moveu-se perpendicularmente ao sentido do fluxo do rio, o que não faz sentido. Concluiu-se então que a névoa da água do vertedouro afeta o valor das direções e distâncias para cálculo das coordenadas e que não deve-se realizar campanhas de monitoramento quando as comportas estiverem abertas.

Como a terceira campanha de levantamento estava com as comportas fechadas e conseqüentemente não havia influência de neblina e névoas de água, esta foi utilizada para a comparação dos resultados com diferentes equipamentos e softwares. Nesta campanha notou-se que o eixo Y_B apresentou as maiores diferenças, isso significa que obteve-se diferenças no sentido do fluxo do rio.

Analisando os valores desta campanha com as precisões dos equipamentos através da propagação de covariâncias nota-se que os resultados com os dois equipamentos são praticamente iguais em X_B e Z_B onde a diferença média é de 0mm; em Y_B a diferença média encontrada com TS15 pode variar de -4mm a -2mm devido ao fato da precisão do levantamento com este equipamento nas campanhas ser em média de ± 1 mm, já com a TCRA1205 não pode-se afirmar que houve diferenças devido ao fato da precisão do levantamento ser maior que a diferença encontrada. Estas diferenças podem ser explicados devido à baixa de aproximadamente 5m no nível de água do reservatório à montante entre a primeira e a terceira campanha. Porém como a variação máxima tolerável de diferenças horizontais adotados pela COPEL é de 10 milímetros, a diferença encontrada em Y_B está dentro da tolerância de projeto.

Por fim, é possível afirmar que tanto o processamento feito em tempo real com o GeoMos quanto o pós-processamento realizado com o software de Da Cruz (2015) apresentam resultados praticamente iguais em ambos equipamentos.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Para complementar e dar continuidade na pesquisa desenvolvida são apresentadas algumas recomendações:

- Recomenda-se que estudos sejam continuados para aplicar testes estatísticos com estes resultados e para verificar se a alteração do nível de água à montante provoca alterações nas coordenadas.
- Recomenda-se também que pesquisas sejam desenvolvidas para analisar a influência das comportas estarem vertendo durante as medições das direções horizontais, dos ângulos verticais e das distâncias inclinadas.
- Por fim, como o resultado encontrado em tempo real com o GeoMos é estatisticamente igual com o software desenvolvido por Da Cruz, 2015, recomenda-se que este software seja aprimorado para realizar o processamento em tempo real, fornecendo a comunidade um software livre de código aberto.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. R. **O Rompimento de barragens no Brasil e no mundo: desastres mistos ou tecnológicos?** Dom Total, 2016.
- ANA. **Manual do Empreendedor – Volume VI - Guia para a Construção de Barragens.** Brasília: Agência Nacional de Águas, 2015.
- ANDRADE, J. B de. **Navstar – GPS.** Departamento de Geociências, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 1988.
- ANDRADE, W. P. – **Concretos - massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – ensaios e propriedades.** Laboratório de Concreto, ed. Pini. São Paulo: 1997.
- ANDRADE, W.; BITTENCOURT, R; BATISTA, E.; GRAÇA, N. Brazilian experience of roller compacted concrete (RCC). In: **International symposium on roller compacted concrete dams**, 4. Madrid: 2003, p. 267-272.
- ANDRIOLO, F.R. **The Use of Roller Compacted Concrete.** São Paulo: Oficina de Textos, 1989.
- BARRY B. A. **Errors in practical measurements in Science, Engineering and Technology.** John Wiley - Sons, Inc., New York, USA, 1978.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Manual de segurança e inspeção de barragens.** Brasília: MIN, 2002. Disponível em: < http://www.mi.gov.br/infraestrutura/hidrica/publicacoes/manual_barragens.asp >. Acesso em: 20/03/2018.
- BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Obtido em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm. Acesso em: 19/04/2018.
- BROWN, David. et al. **501 Desastres mais devastadores de todos os tempos.** Trad. Catharina Pinheiro. 1ª edição brasileira. São Paulo: Editora Lafonte, 2012.
- CBDB. COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Núcleo de São Paulo. **Guia Básico de Segurança de Barragens, São Paulo:** 2001. 78p. Manual.
- CHEN X.; HUANG T., LIU L., SHEN Y. **Application of GeoMoS in automatic monitoring of the protected area of subway.** School of Earth Sciences and Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China. Engineering of Surveying and Mapping, 2013.
- CHRZANOWSKI, A.; SZOSTAK- CHRZANOWSKI, A. **Deformation monitoring surveys – Old problems and new solutions.** Canadian Centre for Geodetic Engineering, University of New Brunswick – Canada, 2009.
- CHRZANOWSKI, A.; SZOSTAK- CHRZANOWSKI, A. **Reliability and Efficiency of Dam Deformation Monitoring Schemes.** Canadian Dam Associations, Fredericton, NB, Canada, 2011.

CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL. **Usina Hidrelétrica Mauá**. Disponível em: <<http://www.usinamaua.com.br/>>. Acesso em: 19/04/2018.

COPEL. COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. **Instrumentos de auscultação das obras civis, valores de controle para leituras dos instrumentos**. Novembro de 1998.

COPEL. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F62B5CF75B928C3D403257745004890B2>. Gerado: 2014. Acessado em 19/04/2018.

CRANENBROECK, J.V; BALAN, A; **State of the art in structural geodetic monitoring solutions for Hydro Power dams**. Modernos avanços na produção das Ciências Geodésicas, 2012. Obtido em: <http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/sdgn/2012_1/36.pdf>. Acesso em: 10/10/2012.

CRUZ, P. T. **100 barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto**. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

DA CRUZ, W. **Integração de dados de monitoramento de estruturas antrópicas. Estudo de caso: UHE Mauá**. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. 2ª ed. Ed UFPR, Curitiba, Brasil, 2004.

DEPARTMENT OF ARMY – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Manual 1110 - 1- 1004. **Deformation monitoring and control surveying**. Washington, DC, 1994. Obtido em: <<http://gisceu.net/PDF/u44.pdf>>. Acesso em: 19/04/2018.

ELETROBRAS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Centrais Elétricas S.A., 2003.

ENGEL, P.; SCHWEIMLER, B. **Design and Implementation of a modern Automatic Deformation Monitoring System**. Journal of Applied Geodesy, Neubrandenburg, Germany, 2016.

FAZAN, J. A. **Aplicação do teste de congruência global e análise geométrica para detecção de deslocamentos em redes geodésicas: estudo de caso na UHE de Itaipu**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2010.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L. e WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações – aplicações geodésicas**. 2ª ed. Ed UFPR, Curitiba, Brasil, 2015.

GOCA, **GNSS/LPS/LS-based online Control and Alarm System**. Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. University of Applied Sciences. Disponível em: <http://http://goca.info/index_e.html>. Acesso em 29/11/2018.

GRAÇA, N. L. S. S. **Validação da determinação de deslocamentos relativos em obras de engenharia obtidos com técnica Geodésica e medidores triortogonais de junta**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2014.

GRANEMANN, D. C. **Estabelecimento de uma Rede Geodésica para o monitoramento de estruturas: Estudo de caso na UHE Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.

IGS, The IGS Tracking Network. Disponível em:
<<http://igscb.jpl.nasa.gov/network/complete.html>>. Acesso em 15/10/2018.

JINGZHAN, Z. **Application of TCA2003 Total Station to surface deformation observation for Ertan Dam**. Dam Observation and Geotechnical Tests: 2002.

KAHMEN, H.; FAIG, W. S. **Surveying**. Berlim; New York: Walter de Gruyter, 1988.

KOCHEN, R. **Segurança, operação e monitoramento de barragens**. GeoCompany: Tecnologia, Engenharia e Meio ambiente. VIEX Américas, 2016.

LACTEC. **Atendimento aos requisitos da LP 9589 UHE Mauá**. Consórcio Energético Cruzeiro do Sul, 2007.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica TPS1200+ User Manual**. Heerbrugg, Switzerland, 2008.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica TS15 User Manual**. Heerbrugg, Switzerland, 2015.

LEICA GEOSYSTEMS® a. **Leica geosystems original Accessories**. Obtido em:
<http://www.leicageosystems.nl/downloads123/zz/accessory/accessories/brochures/Leica%20Original%20Accessories%20BRO_en.pdf>. Acesso em 29/11/2018.

LENARTOVICZ, I. R. **Avaliação da potencialidade do Laser Scanner terrestre no monitoramento de estruturas: estudo de caso UHE Mauá**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

LIMA, M. O. **Modelagem matemática baseada na Lei dos Cossenos para a determinação de deslocamentos em grandes estruturas: Estudo de caso na UHE Salto Caxias - PR**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

LUTES, J. A. **Automated Dam Displacement Monitoring Using A Robotic Total Station**. M.Sc. thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 214, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 2002.

MARTINI, L. **Calibração de prismas de reflexão total em forma de fita adesiva, em acrílico e sua aplicação no controle de deslocamentos de estruturas**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

MACHADO, W. G. F. **Monitoramento de barragens de contenção de rejeitos da mineração**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

MELLO, F. M. **A importância dos reservatórios formados por barragens**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2013.

MEZINE, W. A. **Metodologia para monitoramento do assoreamento de reservatórios: proposta para a UHE Mauá**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2015.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. vol. 1. 476 p. Editora Unesp. São Paulo, 2008.

MSIB. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Ministério da Integração Nacional. Brasília, 2002.

MUGUIO, M. R. **Implantação e análise da estação GNSS para o monitoramento contínuo da barragem da Usina Hidrelétrica de Mauá**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

MUGUIO, M. R. **Avaliação da variação da densidade do Concreto Compactado com Rolo (CCR) com base nas anomalias da gravidade. Estudo de caso: barragem da Usina Hidrelétrica de Mauá**. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

NADAL, M. A. D. **Controle e operação remota de Estações Totais robotizadas voltado à auscultação geodésica**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

NEVES, R. V. **Processamento e análise de Levantamentos Geodésicos aplicado ao monitoramento de estruturas civis**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2008.

NGS. **National Geodetic Survey**. Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov>> Acesso em: 15/09/2018.

PCA. **Bonding Roller Compacted Concrete Layers**. Concrete Information. Skokie, USA: Portland Cement Association, 1987.

RIBEIRO, F. C. D. **Proposta de metodologia para verificação da estabilidade dos pilares de redes para o monitoramento geodésico de barragens: estudo de caso**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2008.

RÜEGER, J. M. **Electronic Distance Measurement**. 3th ed., Springer-Verlag, Berlin. 1996. 266p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2nd. ed, Berlin, New-York: Walter de Gruyter, 2003.

SIGUEL, A. R. **Monitoramento da barragem da usina hidrelétrica Mauá utilizando irradiação tridimensional**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2013.

SIGUEL, A. R. **Desenvolvimento de um Sistema de Calibração Horizontal para sistemas de Nivelamento Digitais**. Tese de Doutorado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2017.

SIMÕES, D. P.; ALBARICI, F. L.; BORGES, P. A. F. **Análise comparativa das coordenadas no Sistema Geodésico Local e no Sistema Topográfico Local**. R. bras. Geom., Curitiba, v. 5, n. 1, p. 062-081, jan/mar. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: 09/11/2018.

SUCI, F. M. **Estudo sobre a estabilidade da Rede Geodésica de monitoramento da UHE Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SILVA, R. N. F. **Avaliação da técnica de Nivelamento Trigonométrico, técnica Leap-Frog, na determinação de recalque em grandes estruturas: estudo de caso para a UHE Mauá**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SILVEIRA, João F. A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e enrocamento**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SILVEIRA, João F. A. **Instrumentação e comportamento de Fundações de Barragens de concreto**. São Paulo: Oficina de textos, 2003.

SILVEIRA, João F. A. **A importância dos pêndulos diretos na instrumentação das barragens de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia de Barragens: CBDB, 2016.

SOARES, M. A. *et al.* Novas metodologias aplicadas ao monitoramento da barragem de Salto Caxias. **Espaço Energia**, Curitiba, ed. 01. Outubro de 2004.

STS® Sensor Technik Sirnach. **Digital pressure sensor DTM.OCS.S** Obtido em: <<https://campaign.stssensors.com/pressuretransmitter-us>>. Acesso em 19/04/2018.

TAYLOR, J.R. **Introdução à Análise de Erros**. Bookman, Porto Alegre, 2012.

TOPCON POSITIONING SYSTEMS®. **HiPer Lite Operator's Manual**. Obtido em: <<https://fccid.io/LCB-840802/User-Manual/Users-Manual-346893.pdf>>. Acesso em 19/04/2018.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de Topografia**. Universidade Federal do Paraná, Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 2012.

WATANABE, P. S; BASTOS, P. S. S. **Concretos Especiais – Propriedades, Materiais e Aplicações**. Universidade Estadual Paulista. Departamento de Engenharia Civil. Relatório Final de Pesquisa. Bauru-SP. 2008.

WENCHUN, Z.; ZHENGYUAN, X. **Research and Application of Modern Geomatics Technology in the Deformation Monitoring of Metro Tunne**. Journal of University Jilin Jianzhu, 2018.

ZHIMIN, L.; WENJIE, L. **The latest development of dam Deformation Monitoring Automatic Technique**. Journal of Guilin Institute of Technology, 2000.

ZOCOLOTTI FILHO, C. A. **Utilização de técnicas de poligonação de precisão para o monitoramento de pontos localizados em galerias de inspeção: estudo de caso da UHE Salto Caxias**. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.

ZUCULIN, Sérgio. **Curso Segurança de barragens – Módulo II – Unidade 2**. Creative Commons Atribuição, 2012.